



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
de Telecomunicació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FINAL DE CARRERA

MAPA TEÒRIC DE TV WHITE SPACES DE CATALUNYA

(THEORETICAL MAP OF TV WHITE SPACES IN
CATALONIA)

Estudis: Enginyeria de Telecomunicació

Autor: Josep Vallverdú Guasch

Directora: Anna Umbert Juliana

Any: 2014

Agraïments

Vull aprofitar aquest apartat per donar gràcies a totes les persones que m'han donat suport, ànims, alegries i distraccions, tant durant la realització d'aquest projecte com durant aquests anys a la universitat.

En primer lloc, vull agrair a la meva tutora, Anna, el seu suport i la confiança dipositada en mi per a realitzar aquest treball. Els seus comentaris i correccions, així com el seu optimisme i simpatia m'han fet, sense dubte, aquesta feina més fàcil i lleugera. També vull donar les gràcies al Sergio, per donar-me consell i suport informàtic quan ho he necessitat i estar sempre apunt per ajudar-me.

Tot seguit, vull recordar a tots els meus amics i companys que tants cops m'han donat ànims en èpoques d'exàmens, i alhora, tants cops m'han fet riure i passar bones estones. Al Marcel, per aquests anys de companys de pis que sempre guardaré amb bon record, al Ruben, per compartir aficions, interessos i maldecaps, i al Dídac, per ser-hi sempre que el necessito.

Vull alhora agrair i dedicar aquest projecte a tota la meva família. Ells ja saben que no caldria que ho digués, i que per molt que ho digués sempre em quedaria curt, però sense ells res d'això hagués estat possible. Per tot el suport i consell que m'heu donat sempre tots, la padrina Lola, el meu germà Jordi... i sobretot pels meus pares, per creure sempre en mi i fer el que fos per ajudar-me en tot el que ha estat al meu abast. Mai us podria donar prou vegades les gràcies.

I per la Cristina, per estar al meu costat en tot, aguantar-me, ajudar-me, fer-me riure i compartir junts tants moments únics i inoblidables.

Per a tots, moltíssimes gràcies.

Resum

La creixent demanda d'ample de banda degut a l'evolució dels sistemes de telefonia mòbil cap al *Long Term Evolution* (LTE) ha propiciat buscar noves alternatives per ubicar aquests serveis en un espectre radioelèctric cada cop més escàs. En aquest sentit, la banda freqüencial destinada a la televisió ofereix una bona oportunitat de reaprofitament de freqüències no utilitzades degut a la millora espectral que aportà la transició a la televisió digital.

Aquests buits espectrals en la banda de freqüències destinada a la televisió a Catalunya (470-862 MHz), coneguts com TV *White Spaces* o TVWS, poden ser reaprofitats per usuaris secundaris per oferir nous serveis, sempre i quan aquests no ocupin canals ocupats per emissions de televisió o hi causin interferències. Amb aquest propòsit neix el concepte de Ràdio Cognitiva (o *Cognitive Radio*), que consisteix en un conjunt de tècniques per aprofitar els buits espectrals en cada moment i ubicar-hi l'emissió d'usuaris secundaris, sense interferir en l'activitat primària del canal.

Les tècniques de Ràdio Cognitiva precisen conèixer l'existència i la situació dels *White Spaces* existents en la banda de freqüències en la que operen, a fi de poder realitzar la ubicació de serveis secundaris de forma eficaç.

Amb aquesta finalitat, i usant la informació dels centres emissors de la televisió digital a Catalunya i les seves característiques de transmissió, aquest projecte utilitza una eina professional de planificació ràdio per conèixer la ocupació i els buits espectrals dels canals de la banda de televisió, donant lloc a la creació del primer mapa teòric dels TV *White Spaces* a Catalunya. Finalment, per donar la màxima visibilitat al mapa creat, s'ha dissenyat un lloc web públic amb tota la informació obtinguda disponible.

Resumen

La creciente demanda de ancho de banda debida a la evolución de los sistemas de telefonía móvil hacia al *Long Term Evolution* (LTE) ha propiciado buscar nuevas alternativas para ubicar estos servicios en un espectro radioeléctrico cada vez más escaso. En este sentido, la banda frecuencial destinada a la televisión ofrece una buena oportunidad de reaprovechamiento de frecuencias no utilizadas debido a la mejora espectral que conllevó la transición a la televisión digital.

Estos vacíos espectrales en la banda de frecuencias dedicada a la televisión en Catalunya (470-862 MHz), conocidos como TV *White Spaces* o TVWS, pueden ser reaprovechados por usuarios secundarios para ofrecer Nuevos Servicios, siempre que estos no ocupen canales ocupados por emisiones de televisión o les causen interferencias. Con este propósito nace el concepto de Radio Cognitiva (o *Cognitive Radio*), que consiste en un conjunto de técnicas para aprovechar los vacíos espectrales en cada momento y ubicar en ellos la emisión de usuarios secundarios, sin interferir en la actividad primaria del canal.

Las técnicas de Radio Cognitiva precisan conocer la existencia y situación de los *White Spaces* existentes en la banda de frecuencias en la que operan, con tal de poder realizar la ubicación de servicios secundarios de modo eficaz.

Con este fin, y usando la información de los centros emisores de la televisión digital en Catalunya y sus características de transmisión, este proyecto utiliza una herramienta profesional de planificación radio para conocer la ocupación y los vacíos espectrales de los canales de la banda de televisión, dando lugar a la creación del primer mapa teórico de los TV *White Spaces* a Catalunya. Finalmente, para dar la máxima visibilidad al mapa creado, se ha diseñado un sitio web con toda la información obtenida disponible.

Abstract

The increasing bandwidth demand due to mobile communications evolution towards Long Term Evolution (LTE) has empowered searching new alternatives to allocate these services in a sparsely occupied radio spectrum. For that purpose, the television frequency band offers a good chance to be reused because of the improvement of the spectral efficiency caused by the transition towards digital television system.

These unused frequencies in the TV band in Catalonia, known as TV White Spaces or TVWS, can be used by secondary users in order to offer new communication services, as long as these services do not occupy television-assigned channels nor cause interferences to TV broadcast. To allow this, diverse techniques known as Cognitive Radio are developed for a real-time reuse of spectrum holes with secondary services without interfering in the channel primary activity.

Cognitive Radio techniques requires acknowledge of the existence and situation of the actual White Spaces in the operative frequency bands so as to allow and efficient relocation of secondary services.

To achieve this required TVWS knowledge, this project uses broadcast TV sites features and its transmission properties within a professional radio planning tool in order to show the coverage and White Spaces in the television frequency band, allowing the creation of the first theoretical map of Catalonia TV White Spaces. Finally, a public web site containing all the obtained information has been designed to give more visibility to the created TV White Spaces map.

Índex

1 Introducció	11
2 Marc Referencial	13
2.1 Ocupació espectral	13
2.2 Ràdio Cognitiva.....	14
2.3 Evolució de la televisió	15
2.3.1 Característiques de l'estàndard DVB-T i millores respecte la televisió analògica.	16
2.4 Canals de la TDT a Catalunya. Anàlisi de l'ocupació actual.....	17
2.4.1 Previsió teòrica de l'ocupació actual de l'espectre de televisió i ubicació dels possibles <i>White Spaces</i>	21
2.5 Ocupació Futura: Dividend digital	25
2.5.1 Marc legal i normativa.....	25
2.5.2 Beneficis de l'alliberament del dividend digital	26
3 Objectius i metodologia	29
3.1 Objectius del projecte	29
3.2 Fase de documentació	29
3.3 Metodologia amb l'eina professional de planificació ràdio ATOLL.....	30
4 Desenvolupament del projecte: obtenció de TVWS amb Atoll.....	33
4.1 Creació d'un nou projecte.....	33
4.2 Inicialització de paràmetres	35
4.2.1 <i>Sites</i> o emplaçaments.....	35
4.2.2 Antenes emissores	37
4.2.3 Canals i bandes de freqüència.....	38
4.2.4 Característiques dels transmissors.....	39
4.2.5 Model de propagació utilitzat per les simulacions.....	42
4.2.6 Zona geogràfica de treball.....	43
4.3 Metodologia utilitzada per a l'obtenció de <i>White spaces</i>	47
4.4 Obtenció dels <i>White Spaces</i> de Catalunya per cada canal.....	52
4.5 Àrea coberta pels TVWS.....	56
5 Anàlisi dels TVWS obtinguts i procediment per a l'obtenció de <i>White Spaces</i> de més d'un canal	61
5.1 Anàlisi de les cobertures TVWS de 8 MHz obtingudes	61
5.2 Cobertures TVWS de més d'un canal	65
5.2.1 Metodologia i Nomenclatura per a WS secundaris de 2 o més canals	67

5.2.2 Interpretació i classificació de les cobertures TVWS obtingudes	69
6 Opcions de visualització de les cobertures TVWS.....	77
6.1 Visualització de les cobertures TVWS al programa de planificació ATOLL	77
6.1.1 Opcions de visualització d'elements d'interès de forma conjunta amb les cobertures	78
6.1.2 Opcions de visualització de dues o més cobertures TVWS de forma simultània. Exemple de consulta dels mapes	80
6.2 Visualització de les cobertures TVWS al programa Google Earth	85
6.3 Visualització dels mapes TVWS i informació del projecte en un lloc web	91
7 Conclusions i línies futures.....	93
7.1 Conclusions.....	93
7.2 Línies Futures	95
8 Bibliografia	97
9 Annexos	101
9.1 Llistat dels emplaçaments (<i>sites</i>) utilitzats en el projecte d'Atoll.....	101

1 Introducció

L'espectre radioelèctric és el mitjà de propagació usat pels sistemes de radiocomunicació. La creixent demanda de serveis relacionats amb la telefonia mòbil, ha generat també una demanda de freqüències lliures a l'espectre radioelèctric a fi de poder-hi ubicar aquests serveis. Tot i això, l'actual assignació de l'espectre no ofereix prou ample de banda per a poder-hi desenvolupar aquests nous serveis.

A fi de solucionar aquest problema, s'han elaborat nombrosos estudis d'ocupació de l'espectre radioelèctric que han demostrat que gran part de l'espectre assignat no s'usa. Aquests buits espectrals en la banda de televisió anomenats TV *White Spaces* o TVWS, han estat deguts a l'arribada de la televisió digital terrestre (TDT), substituint a la televisió analògica. Les millors prestacions espectrals de la TDT i la reordenació dels canals han propiciat buits espectrals desaprofitats en una banda freqüencial amb molt bones característiques intrínseques de transmissió per a la futura implantació de serveis de mobilitat, com el *Long Term Evolution* (LTE).

Cal destacar però, que aquest aprofitament dels TVWS ha de respectar les emissions primàries de TDT a les que la banda és destinada. Per tant és necessari que els serveis secundaris introduïts en els buits espectrals d'aquesta banda, s'adaptin a les emissions existents i els explotin sense interferir en els serveis d'emissió de televisió. Per tal d'aconseguir aquest propòsit s'han desenvolupat un conjunt de tècniques conegudes com Ràdio Cognitiva, capaces de poder aprofitar els *White Spaces* adaptant-se freqüencialment i temporalment a la senyal dels usuaris primaris.

Perquè aquestes tècniques de Ràdio Cognitiva tinguin l'impacte desitjat, és necessari conèixer prèviament amb profunditat els TVWS existents en un àmbit geogràfic, així com el seu ample de banda i la seva localització geogràfica. Amb aquest propòsit, s'inicia aquest projecte dins del Grup de Recerca de Comunicacions Mòbils (GRCM) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), a fi de poder obtenir informació sobre els TVWS existents a Catalunya.

Amb aquesta finalitat, es mostra al projecte presentat a continuació l'estudi de documentació realitzat per conèixer els elements encarregats de la emissió de la TDT a Catalunya, es desenvolupa una metodologia per a l'obtenció de mapes TVWS que permetran identificar per a cada punt del mapa la disponibilitat o no d'aquests *White Spaces* i finalment es crea un mapa teòric dels TVWS a tot Catalunya.

Cal destacar que aquest és el primer estudi d'aquest caràcter que es realitza a nivell de Catalunya, i per tal de donar la màxima visibilitat a aquest treball innovador s'ha creat un lloc web públic amb tota la informació obtinguda.

Aquest projecte s'estructura en un total de 7 capítols, incloent aquest primer capítol introductori.

En el segon capítol, es detalla el marc referencial que afecta aquest projecte. En ell s'explica com els *White Spaces* en la banda de la televisió poden ser de gran utilitat per oferir una solució davant la creixent demanda d'ample de banda i s'introdueix també el concepte de Ràdio Cognitiva com a sistema d'accés i gestió dels *White Spaces*. També es fa un anàlisi de l'ocupació teòrica actual segons el desplegament de canals previst per l'Estat i es remarca el futur canvi de normativa per l'alliberament del dividend digital, amb els canvis previstos que repercutiran en la distribució de canals i *White Spaces*.

En el tercer capítol d'aquest projecte, es descriuen de forma detallada els objectius del projecte. També es defineix la metodologia seguida per a l'elaboració d'aquest treball, tant en la fase de documentació del projecte, com la metodologia usada en l'eina professional de planificació ràdio escollida que és l'eina Atoll de l'empresa Forsk.

A continuació, el quart capítol s'ocupa d'exposar pas per pas el desenvolupament seguit per aconseguir obtenir els TVWS amb l'eina de planificació ràdio. A fi que l'estudi sigui reproduïble, es detallen tots els paràmetres necessaris per introduir al programa (tals com canals utilitzats o característiques dels transmissors). Finalment, s'exposa com obtenir els mapes de *White Spaces* per a cada canal, diferenciant clarament les zones ocupades de les disponibles i coneixent l'àrea total coberta per cada TVWS.

En el cinquè capítol, es fa una anàlisi dels mapes de cobertura TVWS obtinguts per a cada canal en el capítol anterior. A partir d'aquí, s'introdueix la necessitat de trobar també els TVWS de dos o més canals contigus, resultant en *White Spaces* amb més ample de banda disponible. Per aconseguir-ho, s'explica el procediment seguit de forma sistemàtica (ja que la gran quantitat de TVWS per calcular requereix una metodologia d'obtenir-los ordenada), i finalment, s'analitzen aquests resultats obtenint tots els TVWS aprofitables a Catalunya, donant com a resultat una representació gràfica sobre el mapa i l'àrea coberta per cada *White Space*.

Un cop obtinguts els mapes de cobertura TVWS i les dades rellevants sobre aquests en el capítol anterior, el capítol sisè s'ocupa de mostrar les plataformes escollides i les opcions d'aquestes per tal de visualitzar els resultats d'aquest projecte. Aquí es presenten 3 maneres de visualitzar els continguts: en primer lloc, utilitzant el mateix programa de planificació ràdio i les seves opcions de consulta; seguidament es presenta una visualització amb els fitxers generats per al programa Google Earth; i, finalment, es presenta un lloc web per tal de fer més accessible la informació obtinguda a aquest projecte.

2 Marc Referencial

En aquest capítol es tracta l'estat actual de l'espectre radioelèctric destinat a la retransmissió de senyal de televisió a Catalunya, tenint en compte el canvi de paradigma que ha suposat la implementació de la televisió digital enfront a l'anterior tecnologia analògica. Aquest canvi, afegit a la creixent demanda d'ample de banda per a serveis de comunicació, planteja un reaprofitament més òptim de l'espectre radioelèctric utilitzant els TV *White Spaces* (TVWS). Els TVWS són els buits freqüencials lliures d'emissió en la banda de la televisió que, combinats amb tècniques tals com la ràdio cognitiva, poden esdevenir de gran interès per a la millora de les telecomunicacions.

2.1 Ocupació espectral

L'espectre radioelèctric és un recurs natural format pel conjunt d'ones electromagnètiques que es propaguen lliurement per l'espai. Aquest recurs és utilitzat com a mitjà per a la difusió de serveis de ràdio i televisió, aplicacions industrials i domèstiques diverses i tot tipus de serveis de comunicació en general.

L'evolució i importància que presenten actualment les TIC (Tecnologies de la informació i Comunicació) i la creixent demanda d'ample de banda, sobretot pel gran augment de tràfics de dades originats pels telèfons mòbils intel·ligents o *smartphones*, han fet que l'espectre radioelèctric estigui més sol·licitat que mai.

D'altra banda, les polítiques d'assignació fixa de l'espectre, sovint contribueixen a una infrautilització de recursos: les adjudicacions de bandes de freqüències es solen fer amb llicències per llargs períodes de temps i per extenses àrees geogràfiques.

En el cas de la difusió de la televisió, actualment es destina la part de l'espectre que va dels 470 MHz als 862 MHz per a la retransmissió dels programes. Però un cop implementada la televisió amb tecnologia digital i l'aturada definitiva de les emissions en tecnologia analògica, aquesta part de l'espectre radioelèctric no queda totalment ocupada, donant lloc a espais en buit, anomenats "*White Spaces*".

Els *White Spaces* en aquesta banda de freqüències (coneguts també com TV *White Spaces* o TVWS, degut a que és la banda de freqüències destinada a la emissió de la televisió) són l'objecte d'estudi d'aquest treball. Pel seu estudi, cal tenir en compte dos factors: en primer lloc, i com ja es deduïa del paràgraf anterior, aquells canals que quedin lliures dins de l'espectre de televisió. I en segon lloc, cal tenir també present la zona de cobertura geogràfica de cada canal, ja que les emissions de TV que es reben en un punt concret del territori poden diferir significativament d'un altre lloc (tan en quantitat de canals com en la zona de l'espectre on es situïn les emissions). Aquest

factor depèn de la planificació dels canals per cada zona (en quin canal s'emet cada programa disponible per aquella àrea), la ubicació dels repetidors, i per últim, la potència amb la que emeten.

Diversos estudis s'han realitzat a fi de tenir una visió global de les possibles traves i inconvenients, així com de les oportunitats, per al desenvolupament de serveis com ara la tecnologia 4G en comunicacions mòbils (LTE-*Long Term Evolution*) utilitzant els TVWS en diverses zones d'Europa ([1],[2]). En aquest sentit, aquest projecte pretén conèixer detalladament l'ocupació espectral de la banda de televisió a Catalunya, a fi de localitzar els TVWS amb detall en una zona determinada

2.2 Ràdio Cognitiva

Es coneixen amb el nom de Ràdio Cognitiva un conjunt de tècniques ideades per optimitzar l'ús de l'espectre radioelèctric. En aquestes tècniques de comunicació sense fils, els emissors de ràdio cognitiva tenen la capacitat d'adaptar-se a l'ocupació espectral d'una banda determinada al llarg del temps. Així, els nous sistemes són capaços d'adaptar-se i fer ús dels *White Spaces* existents sense interferir en les emissions ja existents.

Aquestes tècniques van ser ideades en un context on s'assignen unes freqüències o bandes de freqüència a uns usuaris primaris, mitjançant llicències d'ús per un temps determinat, i on uns altres usuaris, anomenats usuaris secundaris poden aprofitar-se dels buits que deixen en l'espectre (*White Spaces*) en els diferents canals o al llarg del temps, per emetre el seu senyal.

Cal destacar la importància d'un bona detecció per part del sistema de ràdio cognitiva de l'espectre buit en cada moment a fi de no interferir en l'activitat radioelèctrica dels usuaris primaris, que sempre tindran preferència. D'aquesta manera els usuaris secundaris hauran de variar la seva freqüència amb tècniques com poden ser l'Accés Dinàmic a l'Espectre (DSA) aprofitant els WS generats pels usuaris primaris i monitoritzant la seva evolució en el temps.

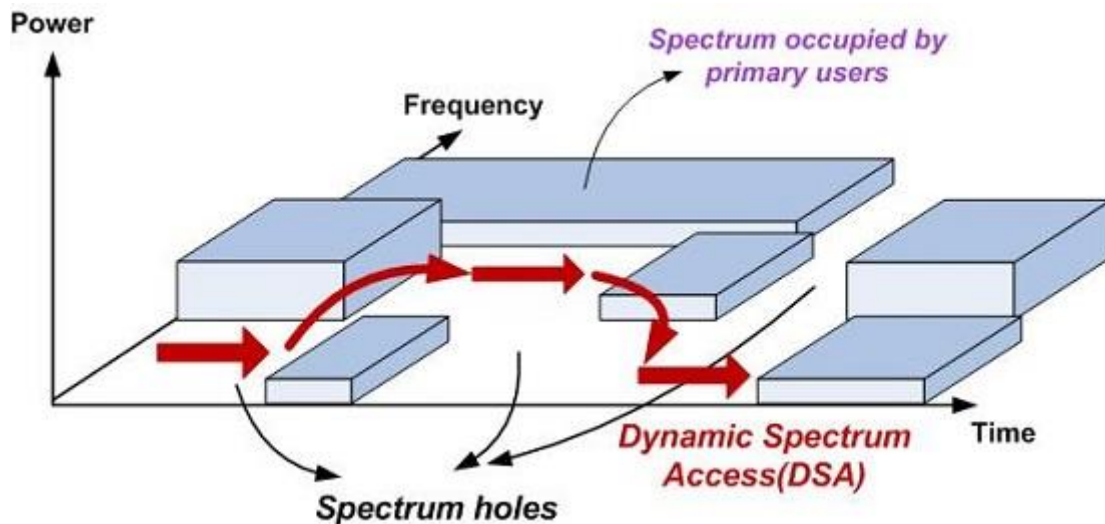


Figura 2.1: Representació del funcionament de la tècnica d'accés dinàmic a l'espectre (DSA) (font: [3]).

Amb la finalitat de poder regular i gestionar els White Spaces de l'espectre de la televisió, neix al gener de 2010 el projecte COGEU (*COGNitive radio Systems for efficient sharing of TV white spaces in EUropean context*)[4], que es defineix a ell mateix com “un projecte amb voluntat de gestionar els àmbits tècnics, de negoci i de regulació, amb l'objectiu d'aprofitar l'encesa de la TV digital (o apagada de la TV analògica) mitjançant el desenvolupament de sistemes de ràdio cognitiva que aprofitin les característiques favorables de propagació dels TVWS mitjançant la introducció i promoció de sistemes de gestió en temps real per a usuaris secundaris”.

També s'han realitzat altres estudis similars en diferents parts del món, però cap fins ara en l'àmbit de Catalunya.

2.3 Evolució de la televisió

En els últims anys, la introducció de la TDT (Televisió Digital Terrestre) ha estat un fenomen del que s'ha parlat freqüentment tant als mitjans de comunicació com en les converses del dia a dia en la majoria de llars. La necessitat de l'adquisició de descodificadors, l'ampliació de la oferta televisiva amb la proliferació de nous canals, l'adaptació de les antenes comunitàries i els primers problemes de cobertura, han estat algunes de les primeres conseqüències d'aquesta transició cap a la televisió digital amb un gran ressò per part de la població.

A l'abril de 2010 es va completar l'apagada analògica a Espanya. Finalitzava així un període d'adaptació al nou escenari digital, culminant la implantació de la TDT al nostre país. Per la televisió digital terrestre hi ha quatre estàndards que tenen una àmplia implantació: el ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) originat als Estats Units d'Amèrica, el ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) d'origen japonès, el

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

xinès DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) i el DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*). Aquest darrer, el DVB-T, fou l'estàndard escollit a l'Estat espanyol. En el mapa de la figura 2.2 es pot veure l'extensió per països d'aquests estàndards. (DVB-T2 és la nova versió millorada de l'estàndard DVB-T).

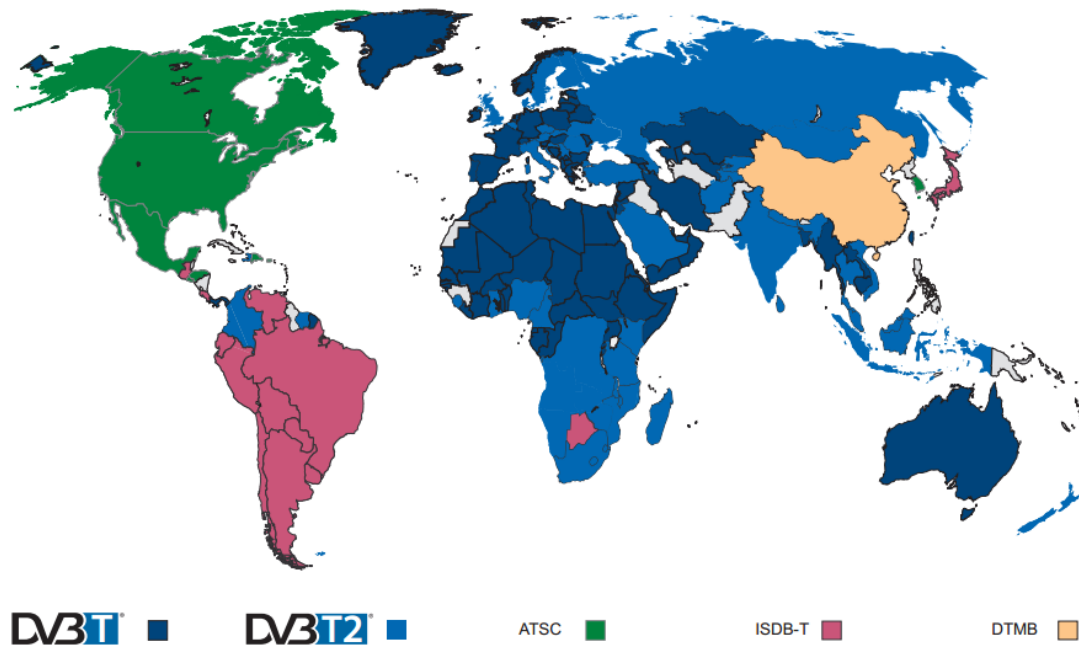


Figura 2.2 Mapa dels estàndards de televisió digital adoptats pels països (font: [5]).

2.3.1 Característiques de l'estàndard DVB-T i millores respecte la televisió analògica.

Com s'ha vist, l'estàndard que s'utilitza a l'Estat Espanyol és el DVB-T. A continuació es repassa un llistat amb les característiques tècniques més importants d'aquest estàndard i les millores que ha aportat respecte a la difusió de televisió analògica convencional:

- Modulació COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) amb els modes 2K o 8K (de 5 a 32Mbit/s).
- Interval de guarda per evitar la interferència intersimbòlica i protegir-se d'ecos.
- Canalització de 6,7, o 8 MHz amb un ús òptim de l'espectre (canals de 8 MHz a l'estat Espanyol amb 7.61 MHz utilitzats dels 8MHz disponibles del canal UHF analògic)
- Codificació de vídeo MPEG-2 (MP@ML) i d'àudio MPEG-1 (L-II,AC-3).

Aquestes i d'altres característiques ofereixen importants beneficis respecte la televisió analògica tradicional, citant a continuació les més importants:

•Increment de canals de televisió

L'ús més eficient de l'espectre radioelèctric amb la televisió digital degut a que l'ample de banda necessitat per la televisió digital és molt menor al que ocupa la televisió analògica, permet transmetre 4 canals en la banda de freqüència on abans només s'hi transmetia 1 sol canal.

•Millora de qualitat del servei

La transmissió de la televisió amb la informació digitalitzada permet obtenir un resultat més agradable per a l'usuari, amb una imatge molt més nítida i amb més protecció enfront les interferències, sorolls i altres problemes de la televisió analògica tradicional. A més a més, la televisió digital permet l'emissió de canals amb Standard HD (*High Definition*) respecte als SD (*Standard Definition*) de la televisió analògica. A més a més, es va aprofitar per passar l'emissió del format 4:3 al format panoràmic 16:9.

Una altra millora en la qualitat del servei, és la possibilitat d'escollir diferents canals d'àudio, subtítols i altres complements degut a l'estalvi d'ample de banda utilitzat per la retransmissió dels canals.

2.4 Canals de la TDT a Catalunya. Anàlisi de l'ocupació actual

Actualment, l'espectre ocupat pels canals de televisió a Catalunya va dels 470 MHz als 862 MHz. Tal i com s'ha comentat, l'estàndard de Televisió digital terrestre DVB-T s'utilitza amb una canalització de 8 MHz, el que fa que existeixin 49 canals de 8 MHz. El primer canal, 470-478 MHz s'anomena canal 21; el següent canal 22 i així fins a l'últim, el canal 69.

L'ocupació de cada canal es pot extreure a partir de la web del Ministeri d'Indústria Energia i Turisme[6]. Es pot veure com les emissions en cada canal de televisió s'anomenen múltiples i que es poden dividir en tres categories: els múltiples estatals, els autonòmics i els locals.

Múltiples Estatals

Actualment hi ha 8 canals estatals. A cada canal se l'anomena Múltiple. La seva denominació és *Red Global Estatal* (RGE)(2 múltiples), *Single Frequency Network* (SFN)(3 múltiples) i *Múltiple Privado de Cobertura Estatal* (MPE). Es pot veure la seva classificació i denominació, classificació i abreviació en la següent taula:

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Taula 2.1 Denominació i abreviació dels Múltiples d'àmbit Estatal.

Classificació dels Múltiples d'àmbit Estatal	
Denominació	Abreviació
<i>Red Global Estatal</i>	RGE
	RGE2
<i>Single Frequency Network</i>	SFN67
	SFN68
	SFN69
<i>Múltiple Privado de Cobertura Estatal</i>	MPE1
	MPE2
	MPE3

Els múltiples RGE, SFN67, SFN68 i SFN69 es troben ubicats als canals 64,67,68 i 69 respectivament en gairebé la totalitat dels centres emissors. En canvi la resta de múltiples estatals es situen a canals diferents segons la seva localització geogràfica.

Es pot observar a la taula 2.2 el canal que s'utilitza en cada demarcació per a la retransmissió de cada múltiple. En la columna d'observacions, s'hi anoten els centres emissors que emeten un múltiple en altres canals, o si s'utilitzen diferents canals en la mateixa província per al mateix múltiple (com per exemple el múltiple RGE2 a la província de Lleida i de Tarragona, on s'usa el canal 39 per la distribució del senyal a la zona pirinenca i la zona de Terres de l'Ebre i el canal 49 i 57 per les zones de la plana de Lleida i del Camp de Tarragona respectivament).

Taula 2.2: Canals utilitzats per a l'emissió dels múltiples estatals per província.

Província	Múltiple	Canal	Observacions
Barcelona	RGE	64	
	RGE2	31	
	MPE1	47	
	MPE2	27	
	MPE3	34	
	SFN67	67	*67 i 29 Collserola
	SFN68	68	*68 i 23 Collserola
	SFN69	69	*69 i 43 Collserola
Girona	RGE	64	
	RGE2	45	*39 Das i Greixer
	MPE1	38	*47 Das
	MPE2	32	
	MPE3	35	

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

	SFN67	67	
	SFN68	68	
	SFN69	69	
Lleida	RGE	64	*61 Alpicat
	RGE2	39/49	39 Pirineu /49 Plana
	MPE1	47	
	MPE2	32	
	MPE3	35	
	SFN67	67	
	SFN68	68	
	SFN69	69	
Tarragona	RGE	64	*61 Monte-Caro
	RGE2	39/57	39 Ebre / 57 Camp
	MPE1	47	
	MPE2	40	
	MPE3	35	
	SFN67	67	
	SFN68	68	
	SFN69	69	

Múltiples Autonòmics

A Catalunya s'emeten 3 múltiples autonòmics, coneguts com a Múltiple digital de Cobertura Autonòmica de Catalunya, Segon Múltiple digital de Cobertura Autonòmica de Catalunya i Múltiple digital Addicional de Cobertura Autonòmica de Catalunya.

Taula 2.3: Denominació i abreviació dels Múltiples d'àmbit Autonòmic.

Classificació dels Múltiples d'àmbit Autonòmic	
Denominació	Abreviació
Múltiple digital de Cobertura Autonòmica de Catalunya	MUL1
Segon Múltiple digital de Cobertura Autonòmica de Catalunya	MUL2
Múltiple digital Addicional de Cobertura Autonòmica de Catalunya	MULAD

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Com en el cas anterior, és interessant veure quins canals s'usen en cada demarcació per a la retransmissió dels múltiples d'àmbit autonòmic:

Taula 2.4: Canals utilitzats per a l'emissió dels múltiples autonòmics per província.

Província	Múltiple	Canal	Observacions
Barcelona	MUL1	61	
	MUL2	44	
	MUL AD	33	
Girona	MUL1	60	*61 Jonquera , 37 Massanet Cabrenys
	MUL2	52	
	MUL AD	36	
Lleida	MUL1	58	*59 Punta Curull
	MUL2	52/56	52 Plana /56 Pirineu
	MUL AD	53	*51 Almatret, Punta Curull
Tarragona	MUL1	59	
	MUL2	36	
	MUL AD	51	

Múltiples Locals

A part dels múltiples que tenen un abast territorial de tot Catalunya (ja sigui utilitzant el mateix canal en tot el territori o un canal diferent per cada zona), també es poden trobar nombrosos canals d'àmbit local, que cobreixen alguns municipis o comarques. En total són 24 canals. Per la resta del projecte, la seva abreviació és TL si l'estació repetidora només emet un sol canal local, o TL1, TL2.. etc. si n'emet més d'un alhora.

A la següent taula (taula 2.5) es llisten els múltiples d'àmbit local presents a Catalunya, amb el canal que utilitzen i una aproximació del territori cobert per la seva emissió:

Taula 2.5: Canals utilitzats i superfície coberta per a l'emissió dels múltiples locals .

Classificació dels Múltiples d'àmbit Local			
	Denominació	Canal utilitzat	Superfície coberta (km ²)
Província de Barcelona	Barcelona(1)	26	143,65
	Granollers	40	500,94
	Cornella Llobregat(1)	53	461,33
	Igualada	37	175,84
	Manresa	49	579,84
	Mataró	24	304,25

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

		Sabadell(1)	39	460,03
		Vic	50	254,55
		Vilanova Geltrú	30	340,36
		Barcelona(2)	48	143,65
		Cornella Llobregat(2)	46	461,33
		Sabadell(2)	45	460,03
Província de Girona		Blanes	42	460,62
		Figueres	26	131,93
		Girona	39	297,12
		Olot	51	220,37
		Palafrugell	25	288,10
Província de Lleida		Balaguer	24	383,46
		Lleida	50	468,75
		Seu Urgell	55	623,15
		Vielha Mijaran	51	494,77
Província de Tarragona		Reus	56	353,94
		Tarragona	54	294,38
		Tortosa	34	1359,27

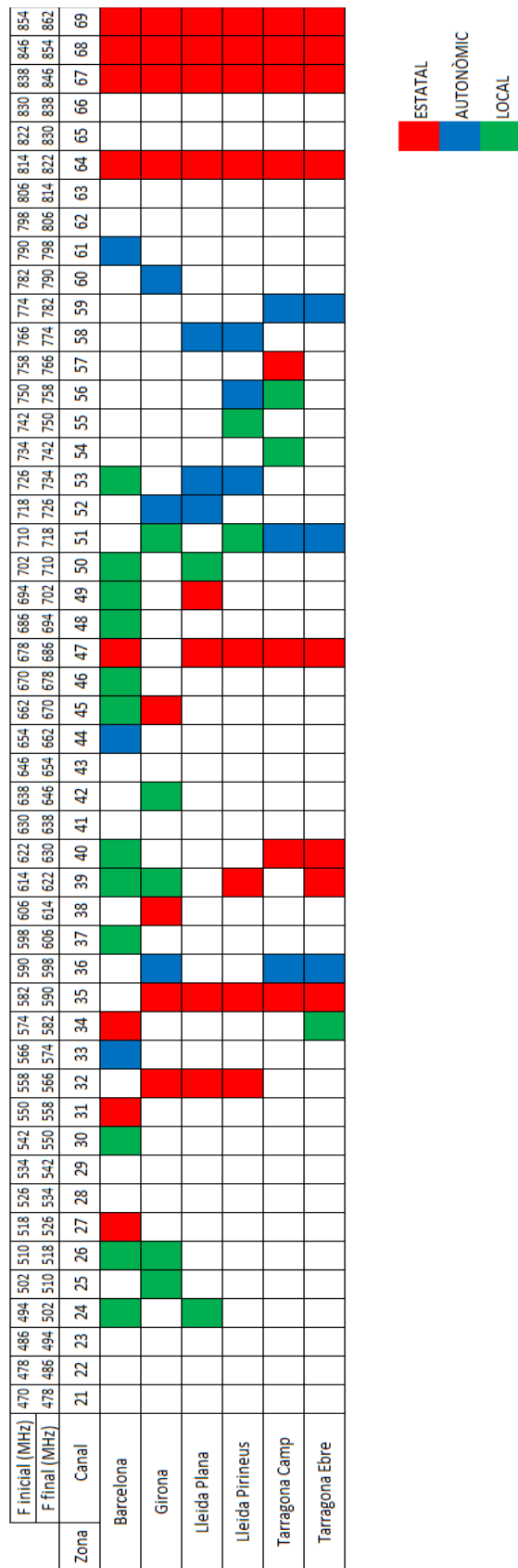
Com es pot observar, hi ha múltiples locals diferents que utilitzen el mateix canal, com per exemple el cas de les emissions del canal local de Vielha Mijaran i Olot (canal 51) o de Balaguer i Mataró (canal 24). Això no causa cap problema ja que si bé hi ha solapament en freqüència, no hi ha solapament en el territori cobert per les emissions.

2.4.1 Previsió teòrica de l'ocupació actual de l'espectre de televisió i ubicació dels possibles *White Spaces*

Amb aquesta informació, i sabent els canals on s'emet cada múltiplex, es pot omplir una graella per poder observar d'una manera més visual, la ocupació teòrica de l'espectre. Tot i que la informació a la web del ministeri ve donada per províncies, per la taula 2.6 s'ha diferenciat la zona de Terres de l'Ebre i Camp de Tarragona per a la província de Tarragona, i la zona de Pirineus i de la Plana per a la província de Lleida. Això s'ha fet perquè aquesta separació s'ajusta més a la realitat i a les diferències de canals utilitzats pels múltiples en les diferents zones de Catalunya:

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Taula 2.6: Representació de l'ocupació dels canals de la banda de TDT a Catalunya segons el tipus de múltiple emès.



Tal i com es pot observar, existeixen canals que estan ocupats en gairebé tot el territori. D'altra banda, com ja s'ha comentat en aquest capítol, en aquesta banda de freqüències es troben molts canals buits, sense emissió de cap canal, reflectits en tots els espais en blanc (sense emissió) de la graella. A més a més, aquestes assignacions són fixes. És per això que és una banda molt interessant per analitzar simulant els centres emissors, els seus canals i les seves potències amb una eina de planificació ràdio professional com és *Atoll*.

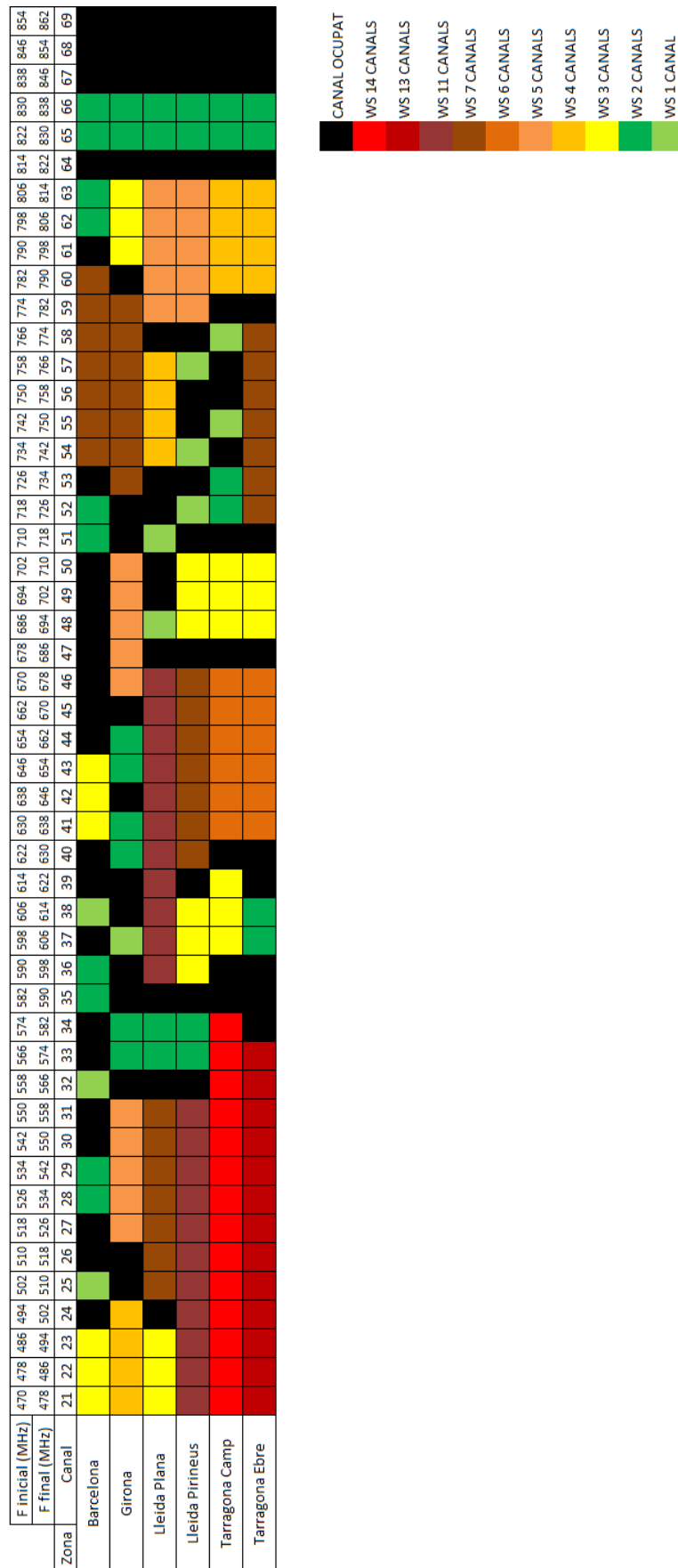
També es pot aprofitar aquesta informació per representar els WS teòrics, en la seva mida màxima per a cada zona territorial diferent. Aquesta informació es pot observar a la taula 5.7, on s'ha pintat de negre les caselles de la taula corresponents a emissions de TDT (ja siguin d'àmbit estatal, autonòmic o local) i s'ha representat els WS amb el màxim nombre de canals consecutius lliure.

Aquesta representació pot ser d'utilitat com a primera aproximació, i per comprovar la capacitat de reaprofitament que té l'espectre de TV per a d'altres usos.

El primer anàlisi teòric caldrà reproduir-lo amb les simulacions amb *Atoll*. Aquesta serà la tasca que es desenvolupa en els capítols 4 i 5 per visualitzar l'ocupació i disponibilitat real sobre el territori, ja que aquesta graella només és orientativa i no té en compte tots els centres emissors (alguns poden estar emetent a diferents freqüències de les que teòricament s'usa en aquella demarcació) ni l'abast real del senyal de televisió, degut a l'orografia del país.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Taula 5.7: Representació de la previsió teòrica de la situació i mida dels WS a la banda de la TDT



2.5 Ocupació Futura: Dividend digital

La televisió analògica havia ocupat part de la banda VHF (*Very High Frequency*- de 47 a 230 MHz) i part de la banda de UHF (*Ultra High Frequency*- de 470 a 862 MHz). Tal i com s'ha comentat en l'apartat 2.3, l'entrada en funcionament de la televisió analògica ha permès un ús més eficient de l'espectre radioelèctric, resultant en un major nombre de programes emesos i amb menys canals ocupats.

Aquesta circumstància, i donat el caràcter escàs d'un recurs tan valuós actualment com és l'espai radioelèctric, van propiciar una replantejament sobre l'ús d'aquesta banda de freqüència. Amb aquesta finalitat es van reubicar els canals de televisió a diferents freqüències amb la intenció d'alliberar els canals que ja no eren necessaris per a d'altres usos.

2.5.1 Marc legal i normativa

La Conferència Mundial de Radiocomunicacions de novembre del 2007 aprovà l'atribució del servei de comunicacions mòbils en servei co-primari amb els serveis de radiodifusió, per la banda de freqüències 790-882 MHz (corresponent als canals radioelèctrics del 61 al 69).

A partir del 2008 diversos estats membres de la Unió Europea van anunciar que la banda 790-882 MHz seria destinada a serveis de comunicacions electròniques. Espanya, seguint la tendència, anuncià al maig del 2009 (Real Decret 365/210) que reservaria també aquesta banda pels citats serveis. Malgrat això, l'alliberament del dividend digital a l'estat espanyol es preveia més complicat, degut als canals ocupats en aquesta banda de l'espectre, resultat de les regulacions estatals prèvies a aquests fets.

A l'Estat espanyol, el primer Pla tècnic Nacional de la Televisió Digital Terrestre data de l'any 1998 (a través de la promulgació del Real Decret 2169/1998), data en la que no estava prevista la utilització de la banda de 790-882 MHz per aplicacions diferents als serveis de radiodifusió. En aquella primera planificació per regular l'arribada de la televisió digital, es varen ocupar canals del futur dividend digital a fi de garantir la coexistència d'emissió analògica i digital durant un cert període de temps per garantir la correcta adaptació de la ciutadania al canvi.

Al 2004, a través del Real Decret 944/2005 s'aprova el Pla tècnic Nacional de la TDT [7], passant a l'ocupació dels canals 66 a 69 per l'emissió en TDT. Això es va produir ja que era la solució més fàcil i senzilla, sense ser necessària la neteja d'altres canals de l'espectre i sense tenir en compte que després s'hauria d'alliberar el dividend digital.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Per tant un cop feta la transició a la televisió digital i amb l'ànim de complir la voluntat d'alliberar el dividend digital per a d'altres usos, el Real Decret 365/2010 [8] preveu les fases per aquest nou procés de redistribució freqüencial, amb data límit de 31 de desembre de 2014. Així la banda del dividend digital, amb els canals 61-69 haurà de quedar lliure per ser assignada als seus nous usos l'1 de gener de 2015. En aquesta dinàmica, es va aprovar el Pla Marc d'Actuacions per l'Alliberament del Dividend Digital 2012-2014 [9] que assenyalava les directrius i fases a seguir.

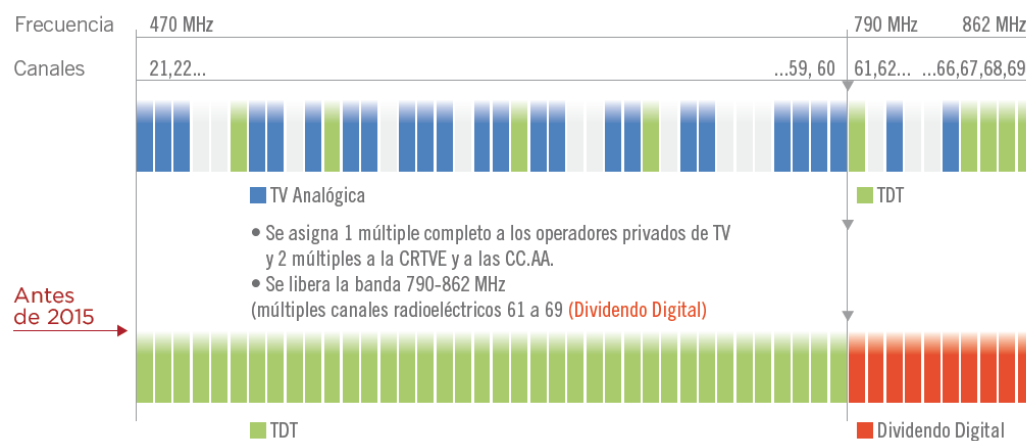


Figura 2.2: Reordenació prevista dels diferents canals en la banda de la TDT a l'Estat Espanyol (font: Pla Marc d'Actuacions per l'Alliberament del Dividend Digital 2012-2014 [9]).

Tot i això, encara no s'ha produït l'assignació definitiva dels canals. Per tant, s'estableixen uns canals provisionals emetent alhora que els canals que utilitzen la banda del dividend digital, per evitar una actualització prèvia a la definitiva de les antenes comunitàries.

La reubicació definitiva dels canals, va ser ajornada, degut a una sentència del tribunal Suprem que anul·là el repartiment de canals acordat al Consell de Ministres el 16 de juliol del 2010, per anar en contra de la Llei General de la Comunicació Audiovisual[10]. Recentment, (gener del 2014) el ministre d'Indústria, Energia i Turisme José Manuel Soria ha anunciat que pròximament presentarà el nou pla per l'alliberament del dividend digital [11]. Amb tot, cal remarcar que la intenció del Govern segueix essent la d'aconseguir aquest alliberament abans del 1 de gener del 2015, tal i com preveia el Pla Marc.

2.5.2 Beneficis de l'alliberament del dividend digital

La banda freqüencial del dividend digital posseeix un gran potencial per subministrar gran varietat de serveis en mobilitat. Això és així degut a les bones propietats de propagació, i sobretot, de penetració a l'interior d'edificis d'aquestes freqüències, més

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

favorables que les bandes freqüencials utilitzades actualment per aquests serveis de mobilitat.

Així, citant el Pla Marc d'Actuacions per l'Alliberament del Dividend Digital 2012-2014 [9], "El dividend digital ofereix l'oportunitat d'introduir la 4a generació de telefonia mòbil (LTE), així com assegurar la cobertura de la banda ampla mòbil ultrarràpida (velocitats de 30 Mbps) al 98% de la població, facilitant el compliment dels objectius de l'Agenda Digital Europea abans del 2020 i contribuint decididament a reduir l'escletxa digital".

3 Objectius i metodologia

En aquest capítol es descriuen breument els objectius que es van fixar per aquest projecte, així com també es defineixen les accions necessàries per a complir-los. Per tant, es presenta també un apartat de cerca d'informació i documentació necessari per tal d'assolir-los, i una metodologia de treball com a pauta dels punts a seguir amb el software de planificació ràdio.

3.1 Objectius del projecte

Els principals propòsits a complir per a aquest projecte són els detallats en els següents punts:

- **Obtenció d'una representació sobre mapa dels canals ocupats de la banda de Televisió Digital Terrestre (TDT) (470-862 MHz) a Catalunya.** Aquesta representació de la cobertura dels canals de la TDT ha de tenir en compte la freqüència en la que s'emeten els diferents múltiples des de cada centre emissor i les propietats de transmissió pròpies d'aquests. Per tant és necessari utilitzar una eina de planificació ràdio professional (Atoll).
- **Obtenció d'una representació sobre mapa dels canals no utilitzats per conèixer la ubicació (tant geogràfica com freqüencial) dels TV White Spaces (TVWS).** Aquesta visualització dels TVWS s'obté a partir de la representació dels canals ocupats.
- **Anàlisi dels TVWS trobats amb un mètode quantitatiu per tal de trobar els TVWS més importants.** Aquest anàlisi ha de tenir en compte tant l'extensió geogràfica d'un TVWS com l'ample de banda disponible d'aquest.
- **Visualització dels resultats obtinguts d'una manera senzilla i còmode.** Per tal de fer més accessible la informació obtinguda amb aquest projecte, aquesta s'haurà de poder consultar tant en el programa de planificació com en un altre entorn.

3.2 Fase de documentació

A fi de complir els objectius proposats, és necessària una cerca d'informació, *papers* i publicacions relacionades, així com trobar les dades necessàries per a la simulació amb l'eina de planificació ràdio. Tots aquests documents es poden consultar a l'apartat de bibliografia. Aquesta fase de documentació s'exposa en els següents punts:

- **Lectura de documents i publicacions d'estudis similars** a fi d'obtenir un coneixement sobre els conceptes Ràdio Cognitiva i TVWS.

- **Lectura de projectes ja realitzats dins del Grup de Recerca de Comunicacions Mòbils de la UPC** sobre TVWS i desenvolupats amb l'eina de planificació ATOLL.
- **Familiarització amb l'entorn Atoll**, que és l'eina escollida per aquest treball, utilitzant tutorials a fi de conèixer l'eina i les seves opcions de treball.
- **Consulta de normativa actual i del procés de regulació i reordenació de la TDT a l'Estat Espanyol**, per tal de conèixer els diferents múltiples que emeten a Catalunya i les mesures per l'alliberament del dividend digital.
- **Cerca dels llistats dels centres emissors per a cada múltiplex**, amb el corresponent **canal** que utilitzen i la seva **potència** i l'**alçada** de les antenes de cada emplaçament.
- **Cerca de la ubicació exacta dels centres emissors**, localitzant-los amb *Google Earth* a fi d'obtenir les coordenades del seu emplaçament.
- **Descàrrega de la cartografia de Catalunya i creació d'un model d'elevació digital (DEM) compatible amb el programa Atoll.**

3.3 Metodologia amb l'eina professional de planificació ràdio ATOLL

Un cop definits els objectius i obtingudes les dades d'interès a partir de la documentació consultada, s'han anat establint els passos per a realitzar el projecte d'una manera lògica, organitzada i fàcilment reproducible per a futurs estudis:

- Creació d'un nou projecte i selecció de la **plantilla**, escollint el **model de propagació adient (ITU-256)**.
- **Càrrega del model cartogràfic** i dels límits de Catalunya.
- **Definició de les freqüències i canals** a estudiar en el projecte.
- **Introducció de les dades del nostre model: emplaçaments, antenes, altura, canals, potència...**
- **Període de proves.** Ja que la simulació completa d'un canal a tot Catalunya requereix molta memòria i temps de càlcul, es realitzen unes primeres **proves de simulació de cobertura a un territori més petit a fi de sistematitzar el procés**, buscant el millor mètode per tal de realitzar les simulacions definitives d'una manera més ràpida i metòdica.
- **Període de simulació de les cobertures.** Es simulen les cobertures de les emissions de TDT dels canals 21 a 69 d'un en un.
- **Obtenció de les cobertures TVWS a partir de les simulacions de cobertura per a cada canal.**
- Utilitzar eines de càlcul del programa a fi de **comptabilitzar el % d'àrea** de les cobertures TVWS, o comparar cobertures que puguin resultar d'interès per a l'obtenció de resultats i conclusions del projecte.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

- **Exportació de les dades introduïdes i dels mapes** en diferents formats a fi de poder visualitzar els resultats en diferents entorns, sense requeriment del programa Atoll.

4 Desenvolupament del projecte: obtenció de TVWS amb Atoll

En aquest capítol s'explica la metodologia utilitzada detalladament per obtenir les cobertures dels TVWS amb l'eina de planificació ràdio professional Atoll (Forsk). Per tal d'aconseguir-ho, s'expliquen els passos realitzats per a la creació d'un projecte en Atoll capaç de proporcionar-nos aquesta informació per l'àmbit territorial de Catalunya.

4.1 Creació d'un nou projecte

A fi de poder representar els *White Spaces* amb l'eina de planificació de xarxes ràdio Atoll, es crea un nou projecte basant-se en una plantilla predefinida (*Project Template*). Després d'estudiar quina seria la plantilla més adient per a la realització del projecte, s'ha escollit la plantilla GSM GPRS EDGE, ja que és la que permet treballar amb més comoditat per poder obtenir la cobertura de la xarxa de DVB (*Digital Video Broadcasting*).

A continuació, és necessari importar el fitxer del model d'elevació digital DEM (*Digital Elevation Model*) encarregat de representar el mapa en relleu de Catalunya. Gràcies al DEM, el programa Atoll és capaç de calcular la propagació del senyal de televisió de cada repetidor de Catalunya tenint en compte el relleu del territori i la situació geogràfica dels punts emissors.

A fi d'obtenir un model d'elevació digital en un format vàlid per Atoll, s'accedeix a la web de l'Institut Geogràfic Nacional [12] i es descarreguen els fitxers de model d'elevació digital corresponents a la zona de Catalunya amb una resolució de 5 metres en format *.asc*. Amb el programa *Global Mapper 13* es seleccionen els fitxers descarregats i s'escullen les opcions de projecció del mapa per tal de convertir-lo en un únic fitxer d'elevació digital compatible amb Atoll de format *.bil*.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

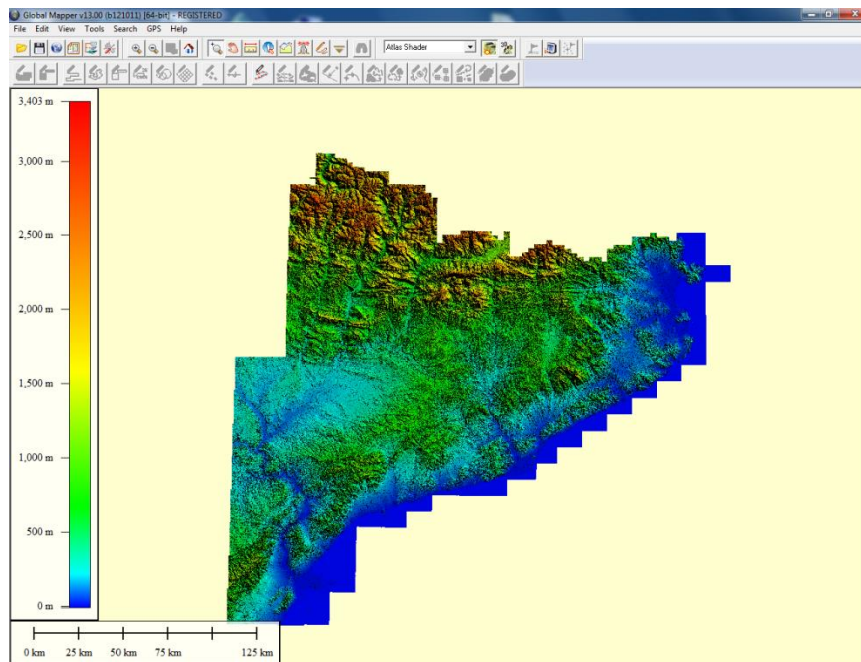


Figura 4.1: Visualització del model d'elevació digital de Catalunya amb el programa *Global Mapper*.

Per tal de garantir una correcta ubicació del model d'elevació digital, quan s'importa el model d'elevació digital amb l'opció *File/Import* cal seleccionar el sistema cartogràfic adient per representar la zona d'acord amb la nostra cartografia (l'opció *Document/Properties* de la barra d'eines d'Atoll). Així doncs, s'ha escollit el *datum* WGS 84 corresponent a la zona 31N UTM, i un *display* WGS84 per tal de visualitzar les coordenades en latitud i longitud sobre el mapa.

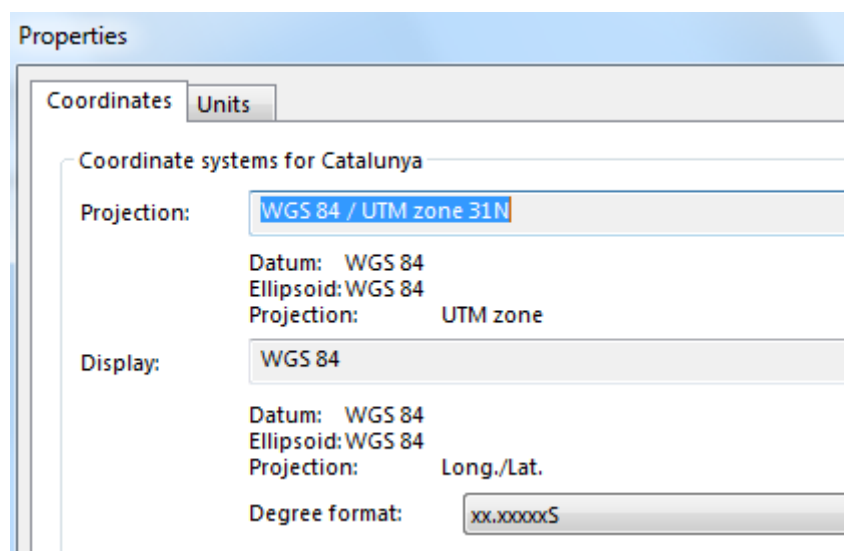


Figura 4.2: Detall de la pestanya on es mostra la selecció del sistema de coordenades definit a Atoll.

4.2 Inicialització de paràmetres

Els paràmetres que s'han considerat en aquest projecte per tal d'obtenir una simulació de la banda de televisió de Catalunya, són els que s'havien obtingut prèviament en la fase de documentació, ja sigui provinent d'altres estudis del GRCM o a base de cercar-la a les webs del ministeri i de la Generalitat. El llistat de paràmetres introduïts és el següent:

- *Sites* o emplaçaments.
- Antenes emissores.
- Canals i bandes de freqüència.
- Característiques dels transmissors.
- Model de propagació utilitzat per les simulacions.
- Zona geogràfica de treball.

4.2.1 *Sites* o emplaçaments

Els *sites* o emplaçaments, són les ubicacions dels centres emissors de TDT que donen cobertura a Catalunya. Vénen determinats per la seva localització geogràfica (latitud i longitud) i per l'alçada (que ja ve fixada en el moment de la seva ubicació en el model d'elevació digital).

Per tal de conèixer la seva ubicació s'ha emprat el lloc web [13] de la Generalitat de Catalunya.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

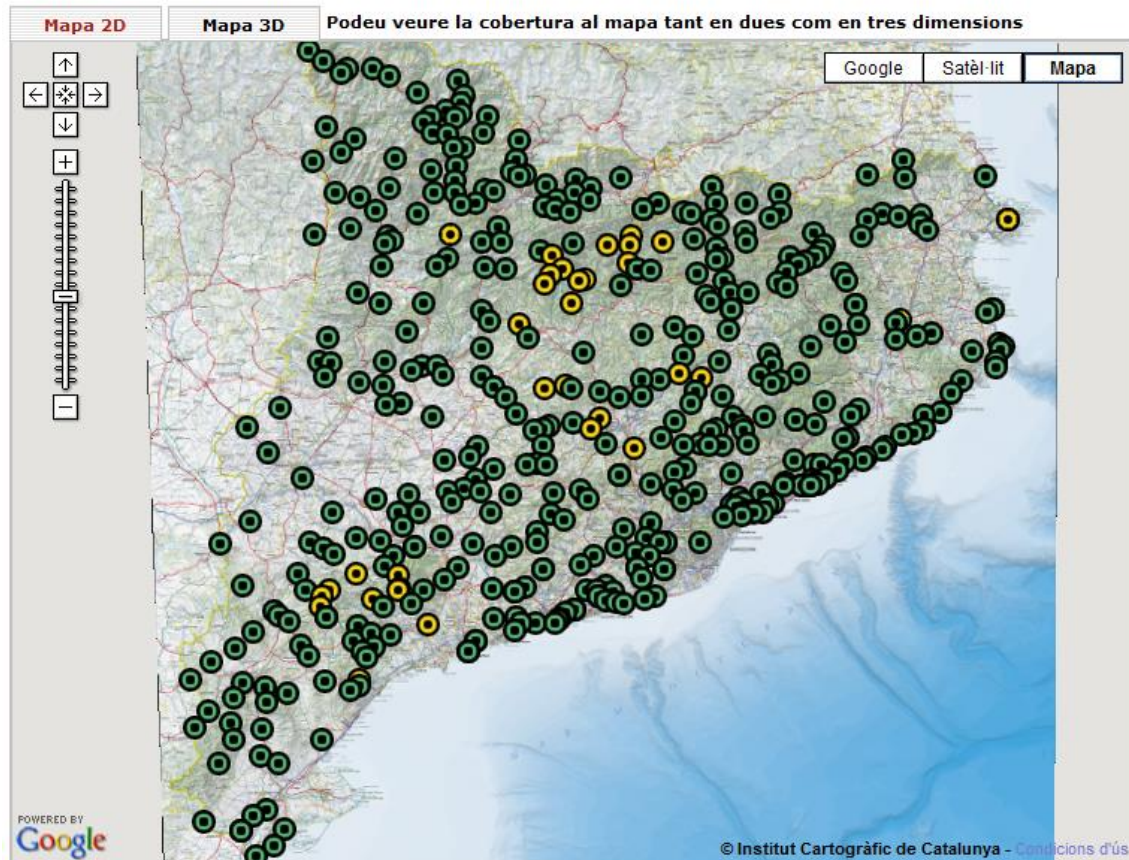


Figura 4.3 Ubicació dels emplaçaments emissors de TDT a Catalunya. En groc els que estaven en període de proves.

D'acord amb el mapa existeixen un total de 425 centres emissors repartits per tot Catalunya.

Per conèixer les coordenades exactes, s'ha utilitzat el programa Google Earth per ubicar els *sites* segons el mapa ofert de la Generalitat. Gràcies a això, es poden obtenir les coordenades de l'emplaçament per tal de crear els sites al nostre projecte.

Per crear els emplaçaments en el projecte d'Atoll, s'accedeix a la opció *Network/Sites* i *New Site*. Un cop allí s'introdueixen les coordenades i es posa nom al nou *site*.

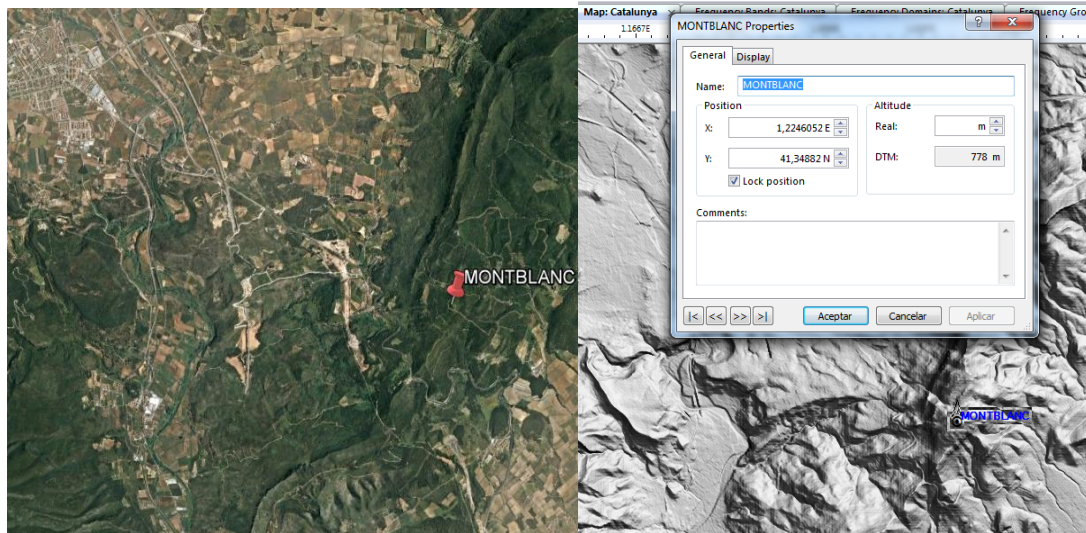


Figura 4.4: A l'esquerra, la localització del *site* MONTBLANC mitjançant Google Earth. A la dreta, la creació del nou *site* amb el programa Atoll.

4.2.2 Antenes emissores

Les antenes que s'han utilitzat per a la simulació corresponen a les que ja s'han utilitzat en altres estudis similars fets amb Atoll en el GRCM ([14] , [15]).

Per introduir els diagrames de radiació de les antenes a Atoll cal accedir a *Parameters/Radio Network Equipment/Antennas*. Cal introduir dos tipus d'antenes: el de les antenes emissores, que tindrà un diagrama equivalent a les antenes de 4 panells típicament utilitzades per a l'emissió de la televisió, i l'antena *receptora*, que és una antena fictícia que necessita el programa per calcular el senyal rebut en qualsevol punt del mapa.

L'antena emissora (*4 paneles*) de 4 panells és equivalent a una de 4 dipols (1:1:1:1) amb un guany total de 13.5 dBi, mentre que l'antena utilitzada en recepció (TDT RX) és omnidireccional i amb un guany de 0 dBi.

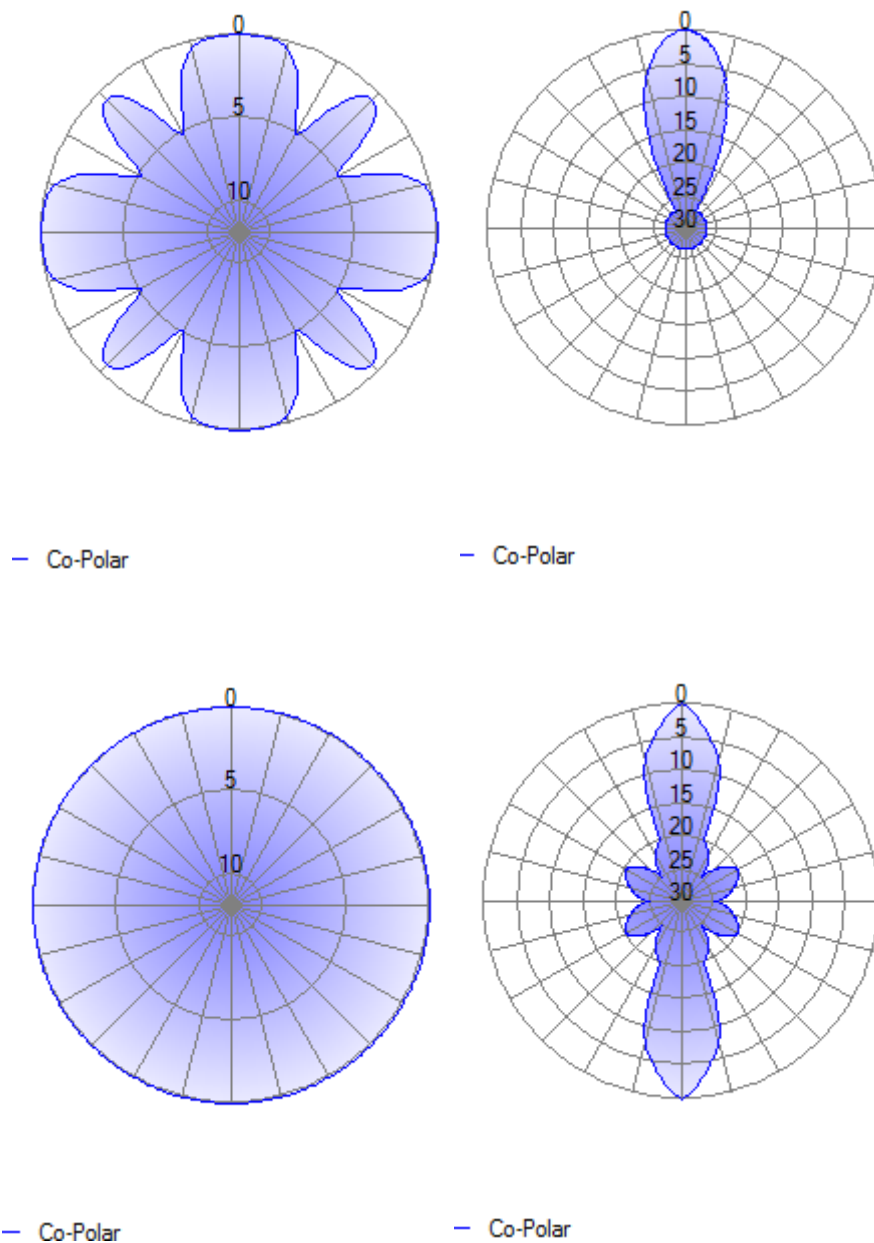


Figura 4.5: Diagrames de radiació horitzontal i vertical de les antenes utilitzades. A sobre l'antena emissora de 4 panells i a sota l'antena receptora omnidireccional.

4.2.3 Canals i bandes de freqüència

A Atoll, les freqüències són gestionades amb tres nivells diferenciats: bandes de freqüències, dominis i finalment grups, que cal assignar per iniciar el projecte. Aquests paràmetres s'han d'inicialitzar a *Parameters/Network Settings/Frequencies*.

Les bandes de freqüències són fixes i representen el nivell més alt dels tres en un projecte GSM GPRS EDGE, essent principalment usades pels transmissors. S'ha definit

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

una única banda de freqüències per agrupar tots els canals de la banda espectral de la televisió de Catalunya amb les següents característiques:

- **Nom:** DVB-T Total
- **Freqüència:** 470 MHz
- **Canalització:** 8000 kHz
- **Primer Canal:** 21
- **Últim canal:** 69

Per la creació dels dominis i grups simplement cal crear-ne un de nou i correspondre'l amb el paràmetre freqüencial de nivell més alt, o sigui, establint una correspondència Banda de freqüències-Domini i una altra Domini-Grup.

Finalment cal crear un tipus de cel·la encarregada de treballar amb la banda freqüencial definida.

4.2.4 Característiques dels transmissors

El següent pas és assignar els transmissors a cada *site* o emplaçament. Per tal de poder realitzar simulacions separades per a cada canal, s'ha creat un transmissor per a cada canal que s'emet des d'un emplaçament.

Accedint a *Network/Transmitters*, podem crear un nou transmissor i especificar les característiques d'aquest.

En primer lloc, en la pestanya General, cal establir una correspondència amb un emplaçament ja creat: així doncs, tots els diferents transmissors d'un mateix centre emissor es situaran a la mateixa localització geogràfica.

També cal introduir el nom que identificarà el transmissor. Per simplificar el tractament i manipulació del gran nombre de transmissors i alhora mostrar el màxim d'informació rellevant amb el nom, s'opta per utilitzar el següent codi per anomenar-los:

NOM DEL SITE_ÀMBIT TERRITORIAL_TIPUS DE CANAL_NÚMERO DEL CANAL

Així doncs utilitzarem les etiquetes identificadores descrites a la taula 4.1:

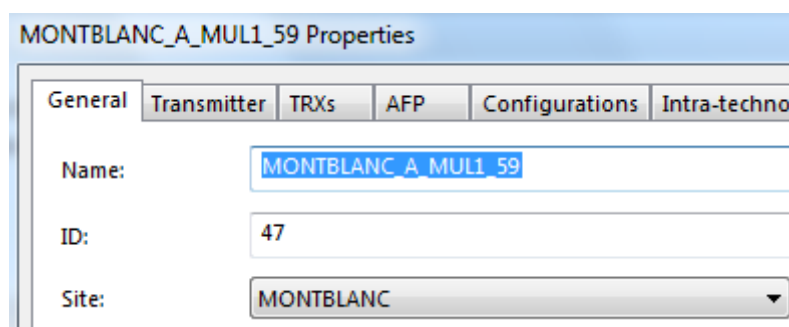
Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Taula 4.1 Abreviatures utilitzades al projecte d'Atoll per a les diferents denominacions dels múltiples.

Àmbit territorial	Estatal	E
	Autonòmic	A
	Local	L
Tipus de canal	Múltiple Privat de cobertura Estatal 1	MPE1
	Múltiple Privat de cobertura Estatal 2	MPE2
	Múltiple Privat de cobertura Estatal 3	MPE3
	Red Global de Cobertura Estatal	RGE
	Red Global de Cobertura Estatal 2	RGE2
	<i>Single frequency Network</i>	SFN
	Múltiple digital de cobertura autonòmica	MUL1
	Segon Múltiple digital de cobertura autonòmica	MUL2
	Múltiple digital adicional de cobertura autonòmica	MULAD
Número de canal	Televisió Local	TL
	Canals 21-69 associats a la transmissió de televisió	21-69

Com a exemple, per anomenar el transmissor associat al múltiple digital de cobertura autonòmica de l'emplaçament de Montblanc, que es transmet a través del canal 59, usem el nom: MONTBLANC_A_MUL1_59.

Alhora, afegim un nombre identificador en el camp ID del transmissor, que ens permetrà agrupar els transmissors per comarques o províncies si es vol fer un estudi d'ocupació espectral més local. Aquesta assignació es fa seguint el llistat de la Generalitat amb els *sites* [13].



The image shows a software interface window titled "MONTBLANC_A_MUL1_59 Properties". It has several tabs: "General", "Transmitter", "TRXs", "AFP", "Configurations", and "Intra-technol". The "General" tab is selected. Inside this tab, there are three input fields: "Name:" with the value "MONTBLANC_A_MUL1_59", "ID:" with the value "47", and "Site:" with a dropdown menu showing "MONTBLANC".

Figura 4.6: Detall de la pestanya general del transmissor del Múltiple digital de cobertura autonòmica de l'emplaçament de Montblanc.

A continuació, a la pestanya *Transmitter* s'introdueix en primer lloc el tipus d'antena a utilitzar, seleccionant de les antenes disponibles del desplegable l'antena de 4 panells que hem creat anteriorment.

Cal afegir també l'alçada que té el centre emissor. L'alçada real de la majoria de les antenes s'ha pogut consultar a [16]. Pels centres emissors en que no es disposa de l'alçada en la que està situada l'antena, s'ha calculat una mitjana de les alçades disponibles amb uns criteris explicats a l'annex 9.2 (Procediment i càlcul per calcular l'altura mitjana dels transmissors) per poder afegir aquesta dada.

Seguidament, cal afegir la potència amb la que emeten els centres transmissors per a cada canal al camp EIRP (*Equivalent Isotropically Radiated Power*). Pels canals locals i autonòmics es disposa d'aquesta dada a [6]. Pels canals estatals s'ha optat per introduir la màxima potència permesa per aquests centres transmissors (80 dBm), prenent el pitjor cas possible donat que l'objectiu final de l'estudi és la obtenció de *White Spaces*.

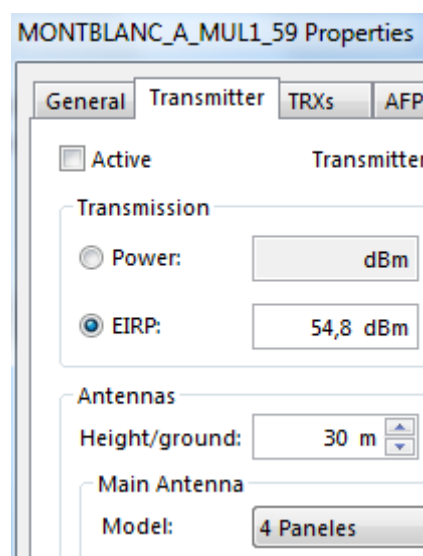


Figura 4.7: Detall de la pestanya *Transmitter* del transmissor del Múltiple digital de cobertura autonòmica de l'emplaçament de Montblanc.

Finalment, s'introdueix a la pestanya *TRXs* la cel·la que s'ha creat anteriorment amb la que es treballarà, la banda de freqüències, el nombre màxim de transmissors, i el canal i tipus de transmissors. Com s'explica a [17], els diferents *TRXs* defineixen els canals i freqüències, optant pel tipus *BCCH* (*Broadcast Control Channel*) per mostrar la cobertura de cada canal en la banda de televisió.

MONTBLANC_A_MUL1_59 Properties

General Transmitter TRXs AFP Configurations Intra-technology Neighbours In

Cell type

Name: Cell Total

Relevant frequency band: DVB-Total Max no. of TRXs: 1

Cell reselect offset: 0 dB

Extended cells

Min range: m Max range: m

Identification

BSIC domain: ALL BSICs BSIC:

BCCH: 59 NCC-BCC: -

Subcells

TRX Type	Frequency Domain	Ex
BCCH	DVB-T Total	
TCH	DVB-T Total	

View: Standard Properties...

TRXs

Index	TRX Type	Channels
0	BCCH	59
*		

Figura 4.8: Detall de la pestanya TRXs del transmissor del Múltiple digital de cobertura autonòmica de l'emplaçament de Montblanc.

En total el projecte constarà de 3349 transmissors.

4.2.5 Model de propagació utilitzat per les simulacions.

El model de propagació conté l'algoritme necessari pel programa Atoll per poder calcular la cobertura que es vol estudiar. S'utilitza el model de propagació per difracció ITU-526 [18] amb un radi de càlcul de 40.000 m i una resolució de 20 m.

També cal afegir l'antena fictícia creada anteriorment TDT RX a fi que el programa pugui calcular el senyal rebut a cada punt del mapa.

4.2.6 Zona geogràfica de treball

Per últim, és convenient delimitar la zona de càlcul (*Computation Zone*) del programa Atoll al límit estricte de Catalunya, àmbit en el que es realitzen els estudis de cobertura. Això redueix lleugerament l'àrea de càlcul i per tant, també el temps de càlcul emprat per cada simulació; tot i això, el motiu principal per la delimitació de la *Computation Zone* als límits reals ve donat per adequar a la realitat els càlculs que es poden fer sobre aquesta, com ara el % d'extensió geogràfica d'un canal o d'un *White Space* (es concreta aquesta utilitat a l'apartat 4.5).

Després de sospesar diferents opcions per obtenir els límits del contorn de Catalunya, s'ha optat per resseguir-lo manualment de forma acurada mitjançant el programa Google Earth, creant una ruta resseguint el perfil de la comunitat autònoma. El motiu pel qual no s'ha carregat directament els contorns autonòmics disponibles al web de l'Institut Geogràfic Nacional [12] ha estat per obtenir aquest contorn en un format que ATOLL pugui reconèixer i alhora reduir molt notablement la quantitat de punts del contorn. Així, es guanya velocitat en el càlcul de les zones de cobertura i a l'hora de carregar i visualitzar els mapes de *White Spaces* obtinguts.



Figura 3.9: Visualització a Google Earth del contorn de Catalunya utilitzat pel projecte.

El resultat és un fitxer en format .kml amb 3216 punts. Tot i que el podem obrir i visualitzar important-lo al programa ATOLL, no té el format adequat per esdevenir una *Computation Zone*.

Si s'obre el fitxer .kml amb un editor de text com el Bloc de notes o Wordpad, podem veure que el fitxer presenta una estructura amb un seguit de capçaleres i etiquetes descriptives indicant el tipus d'arxiu, el nom i diverses propietats (figura 4.10). Es pot observar, que a continuació de l'etiqueta `<coordinates>` hi ha les coordenades dels punts marcats que formen el contorn.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

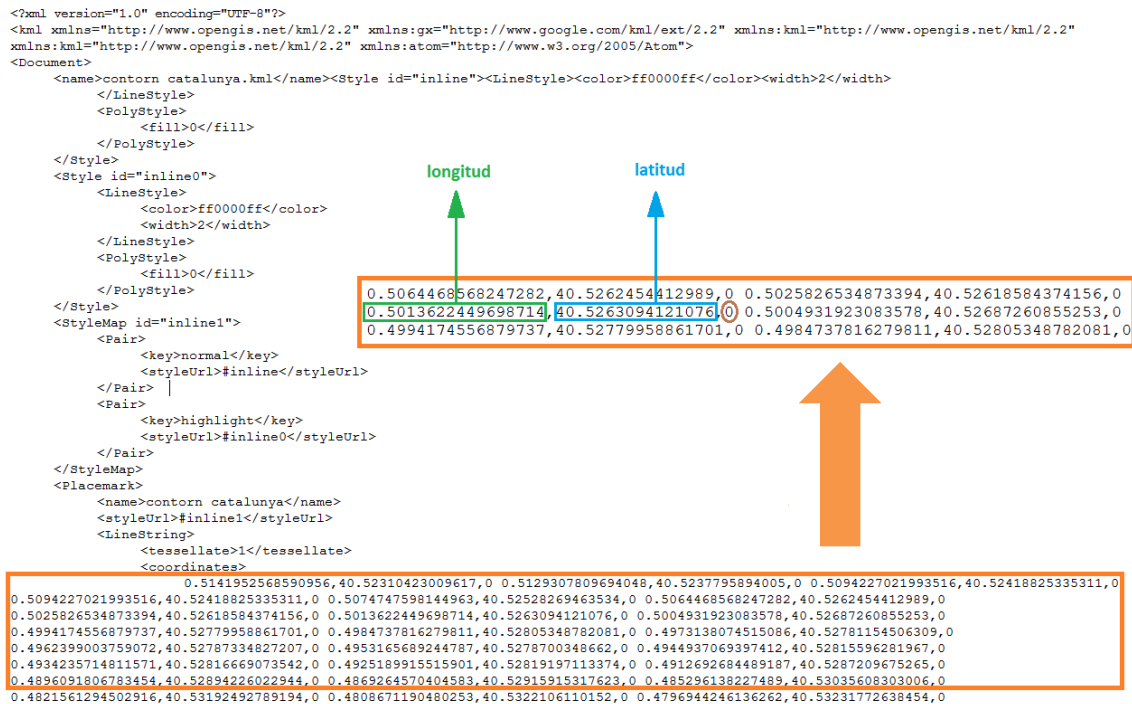


Figura 4.10: Format del fitxer del contorn de Catalunya creat amb Google Earth

Com es pot apreciar, les coordenades venen donades per la seva longitud, la seva latitud, i un zero i un espai per separar de la següent coordenada. Tanmateix, la *Computation Zone* s'ha d'introduir en un format diferent: una columna amb les longituds i una columna amb les latituds, separades entre elles per una tabulació.

Així, cal realitzar la operació de reordenació següent:

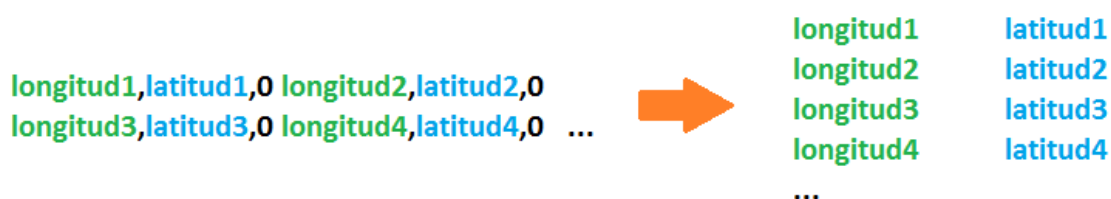


Figura 4.11: Canvi de format necessari per a la correcta exportació del contorn de l'àrea de treball a ATOLL.

Donat l'elevat nombre de coordenades, es va descartar fer-ho manualment i es va optar per realitzar un programa senzill en C per realitzar aquesta tasca, que segueixi les consideracions que s'han assenyalat per obtenir les dades en el format correcte. El programa necessita un fitxer d'entrada amb les coordenades en el primer format i crea dos fitxers de sortida, un amb una columna de les longituds i l'altre amb una columna de les latituds.

A continuació, es mostra el codi del programa utilitzat, comentat breument per a una més fàcil interpretació:

```
//compilar amb gcc coord_sep.c -lm
//1)compilar el fitxer amb gcc coord_sep.c -lm
//2)tenir el fitxer_origen amb les coordenades a la mateixa carpeta
//3)executar ./a.out fitxer_origen fitxer_desti_x fitxer_desti_y

#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <math.h>

int main(int argc, char*argv[]){

char c;
char s='\n';
int fd,fdx,fdy;
int i,fi;

fd=open (argv[1], O_RDONLY); //obro fitxer entrada
fdx=open(argv[2],O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC,0660); //creo fitxers
sortida
fdy=open(argv[3],O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC,0660);
fi=lseek(fd,0,SEEK_END); //busco el final del fitxer coordenades
lseek(fd,0,SEEK_SET); //fico a posicio 0

for (i=0;i<fi;i++){ //fins a final de fitxer
    read(fd,&c,1); //llegim un caràcter

    if(c!=','){//copiem fins trobar coma

        write(fdx,&c,1);
    }
    else {

        write(fdx,&s,1); //salt de línia
        read(fd,&c,1);
        while(c!=','){//recorrem tota la 2a coord
            write(fdy,&c,1);
            read(fd,&c,1);
        }
        write(fdy,&s,1); //salt de línia
        read(fd,&c,1); //llegim dos per saltar "0" i " "
        read(fd,&c,1);
    }
}

close(fd);close(fdx);close(fdy); //tanquem els fitxers
```

Amb les coordenades separades en longitud i latitud per columnes, ja es poden introduir correctament per crear l'àrea de càlcul al programa Atoll (a la pestanya Geo/Zones/Computation Zone).

Figura 4.12: Codi del programa creat en C per al correcte canvi de format de les coordenades de forma automàtica.

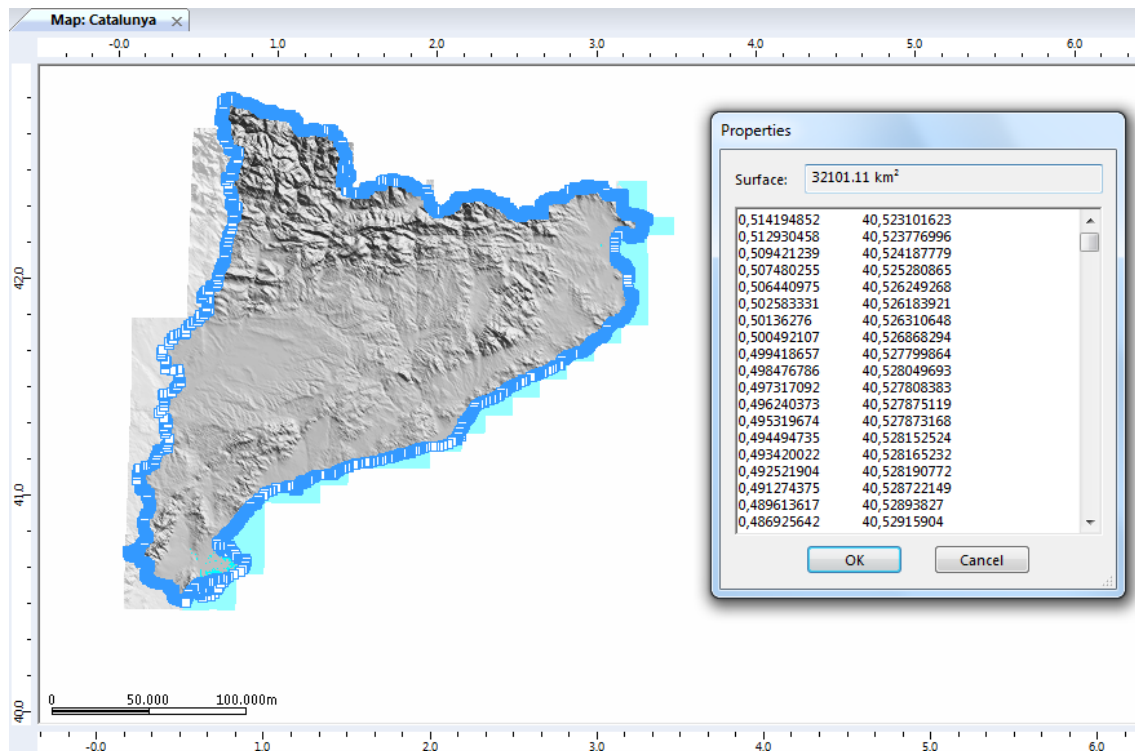


Figura 4.13: Visualització del contorn de Catalunya importat correctament al programa Atoll.

Un cop obtinguts els fitxers amb les coordenades amb el format correcte, sols resta introduir-los a l'apartat de *Computation Zone* del projecte en ATOLL. Com es pot observar a la figura 4.13, la superfície de l'àrea definida és de 32.101,11 km² mentre que la superfície real de Catalunya és de 32.107 km² [19]. Per tant l'àrea computacional obtinguda té un error del 0,01% respecte la superfície real i és considerada suficientment precisa per a les simulacions dels *White Spaces*.

4.3 Metodologia utilitzada per a l'obtenció de *White spaces*.

L'eina ATOLL de Forsk, està pensada per obtenir la cobertura del senyal sobre el territori donats uns emplaçaments amb unes condicions de transmissió definides. Per contra, l'objectiu d'aquest projecte és justament obtenir les zones de no-cobertura, anomenades *White Spaces* (WS), per estudiar-ne la seva disponibilitat en l'ample de banda destinat a la retransmissió de televisió.

A fi d'aconseguir representar els WS es va seguir la metodologia definida a [14], que consisteix en fer simulacions de cobertura amb l'opció d'Atoll *Best Signal Level*.

Per establir correctament la zona de cobertura, és necessari conèixer el llinar que marca la regulació actual per definir la potència mínima del senyal de TDT. Segons el reglament regulador de les Infraestructures Comuns de Televisió (ICT) per a l'accés als serveis de telecomunicacions [20] tots els senyals de televisió que presenten en el punt

de captació una intensitat igual o superior a $3 + 20 \log f$ (MHz) (dBμV/m) han d'ésser distribuïdes als usuaris. Calculant aquest valor per a les freqüències llinar obtenim els valors de 56 dBμV/m a la freqüència inicial del canal 21 (470 MHz) i 62 dBμV/m a la freqüència final del canal 69 (862 MHz). Per utilitzar el mateix llinar per a totes les simulacions, s'utilitzarà el valor de 56 dBμV/m, ja que l'objectiu és mostrar la no ocupació dels canals per trobar els White Spaces en aquesta part de l'espectre.

A fi de conèixer la ocupació i la localització (tant geogràfica com espectral) dels *White Spaces*, es va idear realitzar les simulacions canal a canal, només activant els transmissors que emeten en el canal a estudiar i desactivant la resta, fent així un total de 49 simulacions (del canal 21 al canal 69).

La següent consideració que es pren, afecta al temps de simulació durant la obtenció de les primeres cobertures, a fi d'obtenir una metodologia per a trobar els WS definitius. Per treballar amb més comoditat i necessitar menys potència de càlcul (i per tant, menys temps per cada simulació), és va escollir fer les primeres simulacions només activant els emplaçaments situats a la comarca de Tarragona. Així fent diverses proves es podrà escollir els paràmetres que fan incrementar el temps de càlcul, la Resolució de la simulació i el radi de cobertura des de cada repetidor.

Amb la finalitat d'il·lustrar el procés d'obtenció de *White Spaces* amb l'eina de planificació ràdio ATOLL, es realitzarà a continuació el procés complet per obtenir el WS del canal 47 per la zona de la província de Tarragona.

Per començar a crear les simulacions de Cobertura, s'accedeix a la pestanya *Network/Predictions/New Prediction* i es trien les opcions de la simulació:

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Nom: Cobertura del canal 47 (Tarragona)

Resolució de la simulació: 20 m

Main Radius Resolution: 30.000m

Signal Level (dBμV/m) \geq 56 dBμV/m

Server: Best Signal Level

With a margin: 0 dB

Display Type: Value Intervals

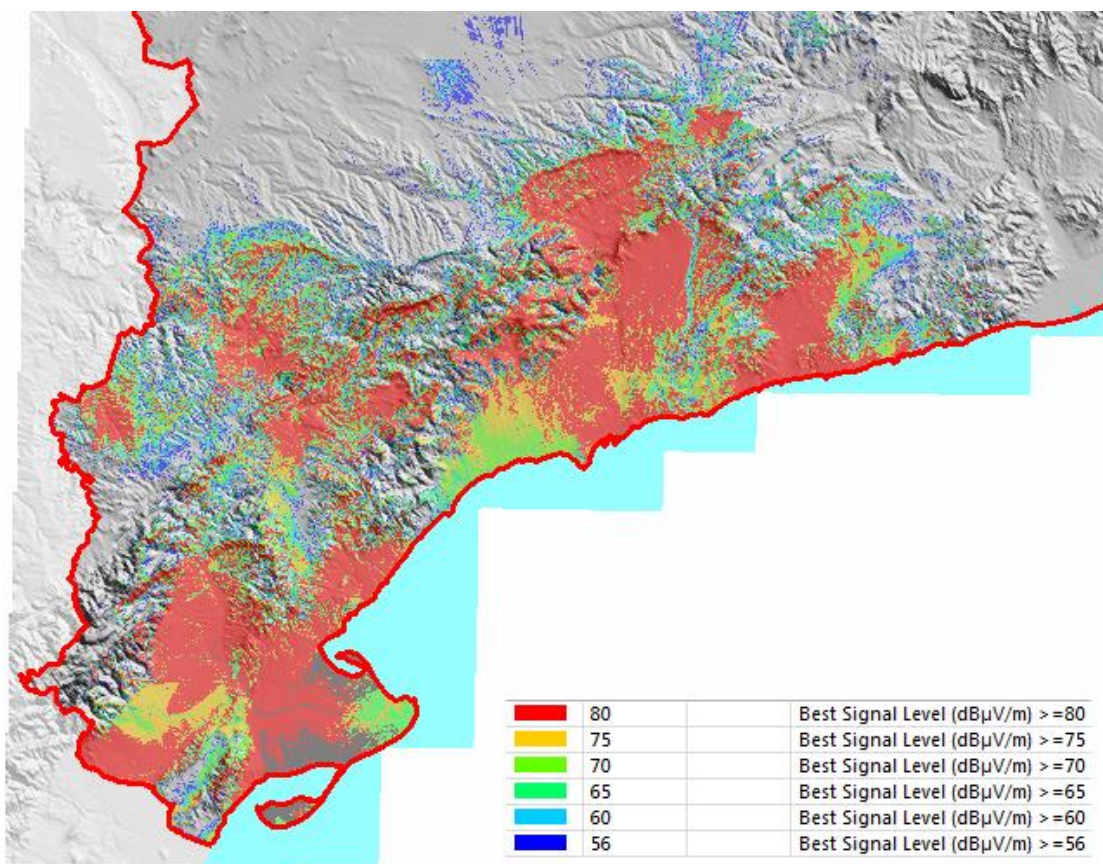


Figura 4.14: Simulació de cobertura del canal 47 segons els nivell de senyal rebuts per a la zona de la província de Tarragona.

Amb aquesta simulació, es pot obtenir la cobertura del canal 47 a la província de Tarragona (figura 4.14), veient en quines zones hi ha més o menys intensitat de senyal. La intensitat mínima representada, tal i com s'indica en la llegenda, és de 56 dBμV/m, que com s'ha indicat és el nostre llindar per trobar els *White Spaces*.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Amb aquesta mateixa simulació, canviant la representació gràfica, es pot obtenir la zona amb cobertura de TDT per aquest canal amb un sol color uniforme (independent de la intensitat de la senyal). Per a fer això, es canvia la opció *display type* al mode *Unique*, obtenint representat només l'àrea coberta per una intensitat de camp igual o major a 56 dBμV/m, obtenint el mapa de cobertura de la figura 4.15.

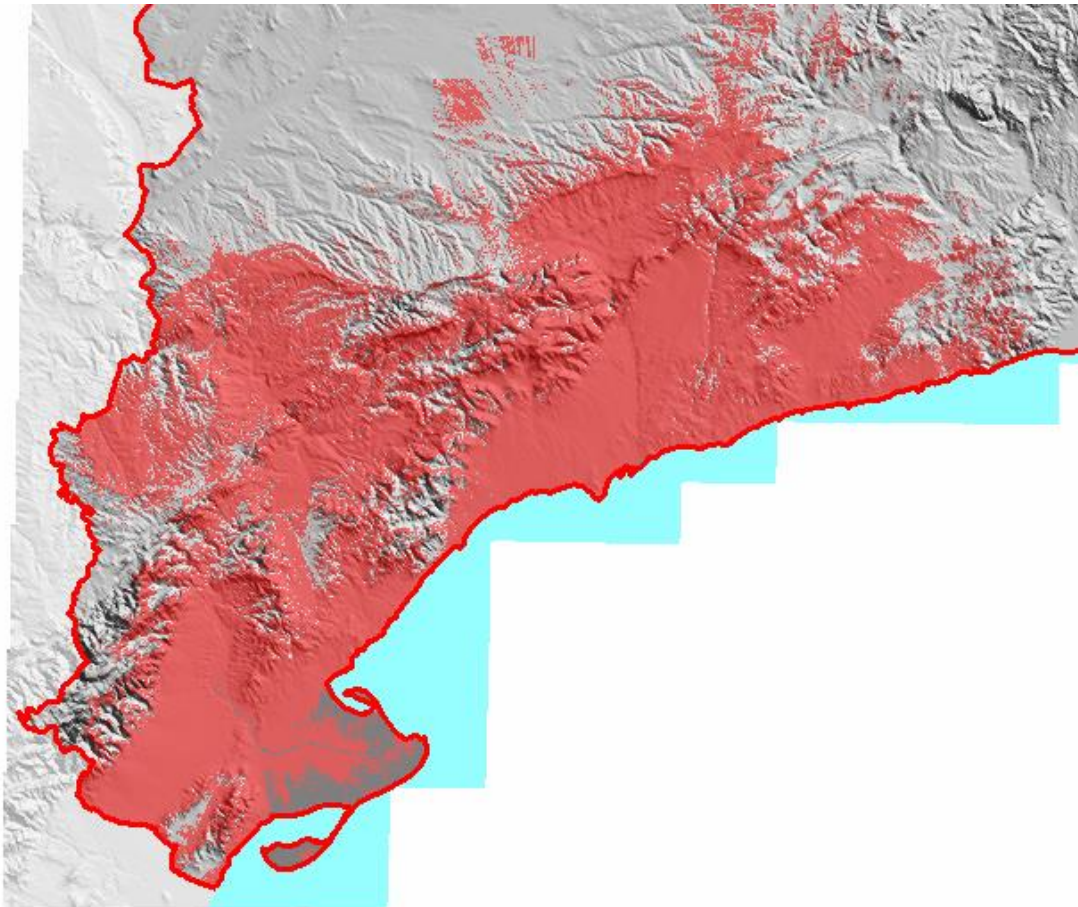


Figura 4.15: Visualització de la zona de la província de Tarragona (en vermell) on la intensitat de camp del canal 47 és superior a 56 dBμV/m.

Com ja s'ha comentat, l'eina de planificació Atoll està pensada per representar les cobertures i no les no-cobertures, és a dir, els *White Spaces*. Per això és necessari canviar les opcions del nivell de senyal en la predicció. Ja que no és possible representar l'interval on el senyal és menor que 56 dBμV/m, sinó que es necessari indicar un interval de valors, s'escull l'interval $[-100 \text{ dB}\mu\text{V/m}, 56 \text{ dB}\mu\text{V/m}]$, on el valor -100 dBμV/m és un valor de senyal tant baix que ens permet incloure tots els píxels de la representació on no hi ha cobertura de senyal de TDT.

Fent això i visualitzant-lo també amb l'opció *Unique* al *display type* (en aquest cas en verd, per diferenciar-la) es pot visualitzar a la figura 4.16 la zona que cobreix el WS.

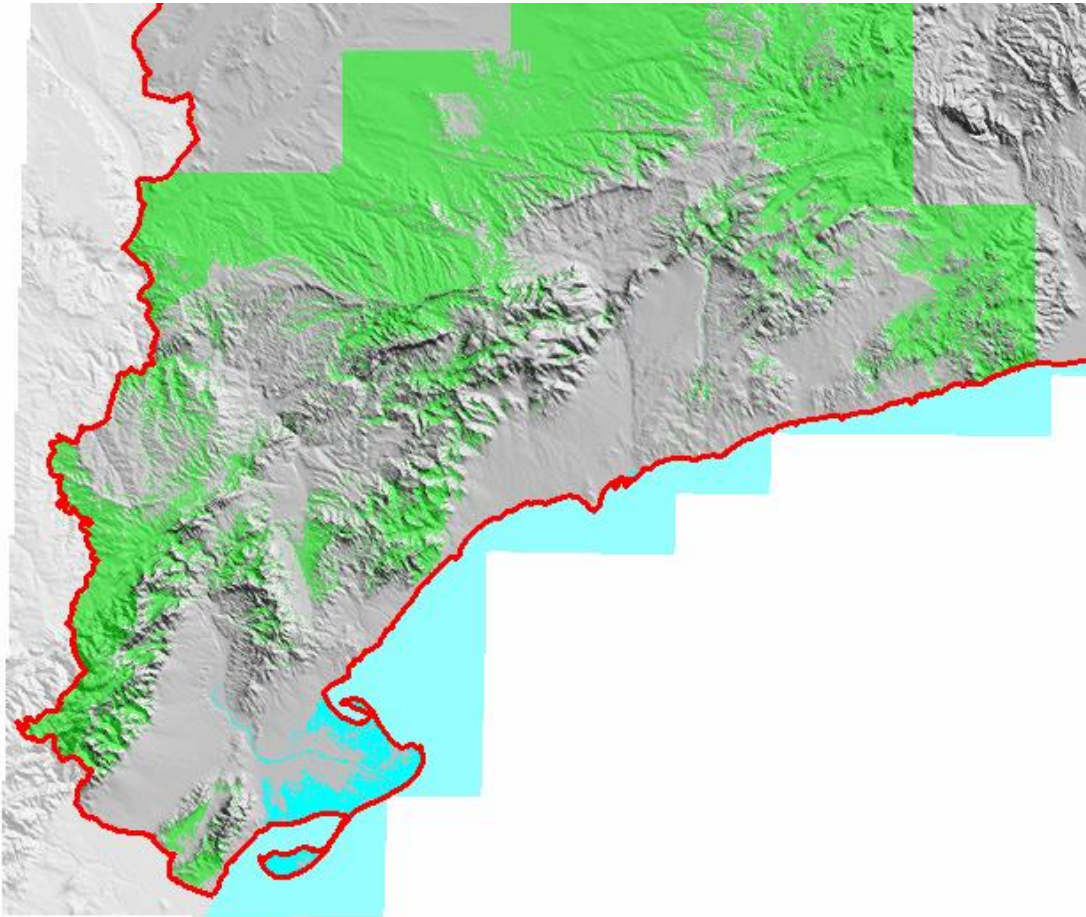


Figura 4.16: Visualització de la zona de la província de Tarragona (en verd) on la intensitat de camp del canal 47 és inferior a 56 dBμV/m.

Es pot observar com en els límits, la zona del *White Space* no ocupa tot Catalunya fora de la província de Tarragona i que queda retallada. Això és degut al radi màxim de càlcul des de cada *site*. Un cop superats els radis de càlcul (30 km), el programa ATOLL ja no fa la comprovació de si es compleixen o no les condicions fixades per representar els mapes de WS, i per tant els deixa en blanc. En el següent apartat, s'explica com s'ha resolt aquest problema.

Per últim es poden visualitzar les dues cobertures conjuntes, en vermell la zona amb cobertura de TDT per al canal 47 i en verd el *White Space* corresponent a aquest canal.

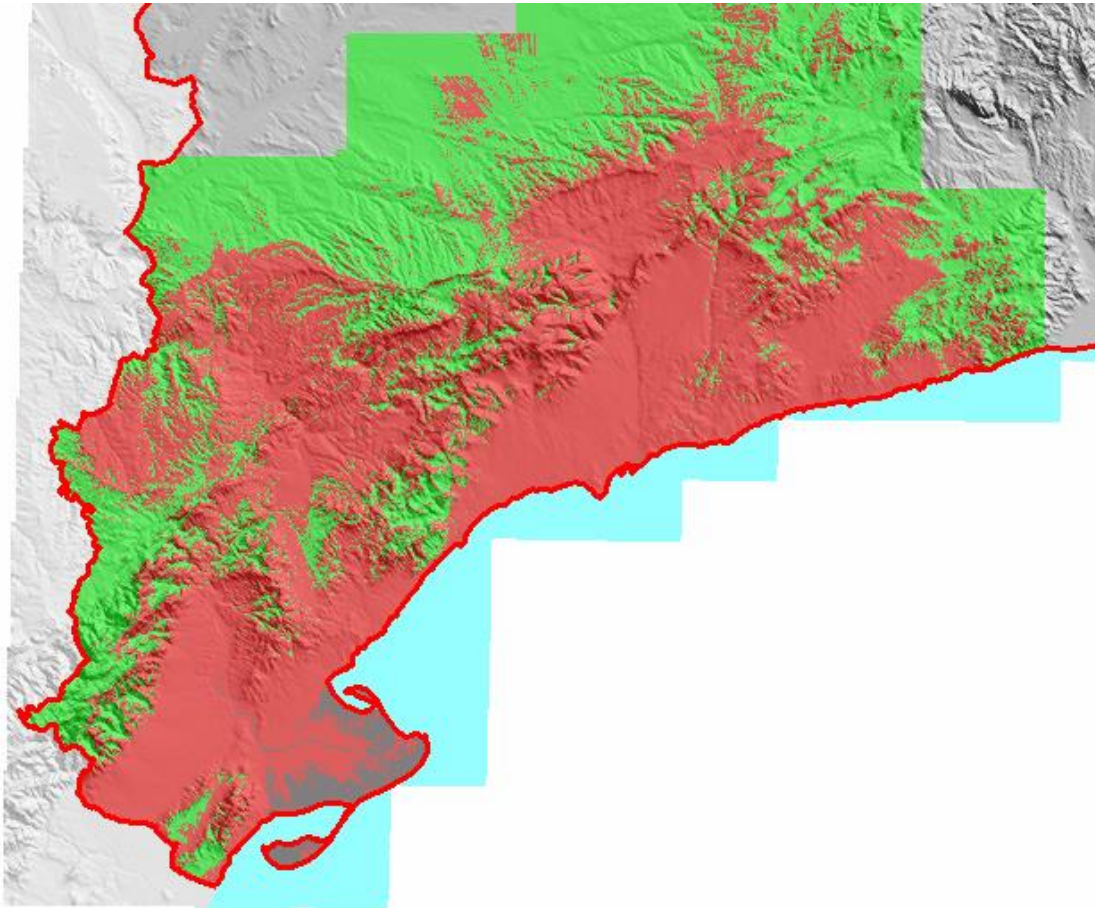


Figura 4.17: Visualització conjunta de la zones de la província de Tarragona on la intensitat de camp del canal 47 és superior o igual (vermell) o inferior (verd) a 56 dBμV/m. La zona en verd és el *White Space* per aquest canal.

4.4 Obtenció dels *White Spaces* de Catalunya per cada canal

Un cop s'ha detallat la metodologia per a l'obtenció de *White Spaces*, es procedeix a obtenir els WS per a cada canal de l'espectre estudiat, del 21 al 69. Aquest càlcul s'ha fet activant tots els transmissors del canal sota estudi per a tot Catalunya, mentre que la resta es deixen desactivats. Les prediccions de propagació i de zones buides de l'espectre es va fer amb una resolució de 20 metres per a tots els canals. Tot i que el nombre de simulacions i la potència de càlcul (i el temps d'espera) requerits eren importants, es va optar per deixar una resolució alta per obtenir una base de dades més precisa.

El radi de càlcul de cada transmissor es va fixar a 40 km, tot i que pels més importants en cada demarcació (els transmissors amb més alçada i potència, i per tant, amb més abast) es va fixar el radi de càlcul a 80 km per assegurar de cobrir tota l'àrea on retransmeten.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Per aconseguir que els *White Spaces* no presentessin àrees sense cobertura degut a que la zona a representar està a una distància major que el radi de càlcul, es va procedir a col·locar 3 emplaçaments de prova sense emetre senyal, però col·locats per cobrir el territori de Catalunya amb un radi de 80 km (figura 4.18). Ja que aquests emplaçaments tenen antenes que no retransmeten res, un radi gran no incrementava el temps de simulació, s'aconsegueix calcular el WS per a tot Catalunya (sense tenir en compte si un punt estava massa allunyat d'un transmissor actiu), i no s'interferia ni s'alterava el resultat final de la simulació dels altres transmissors.

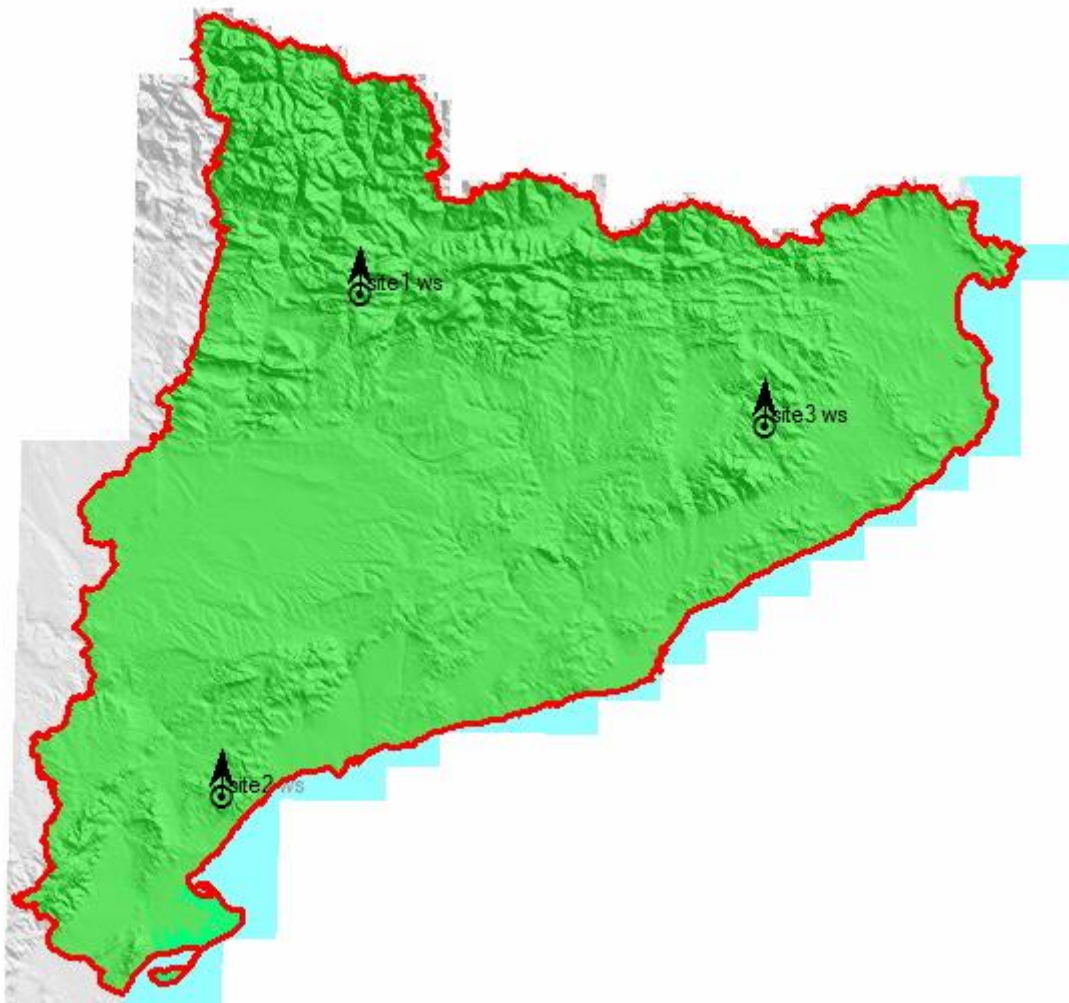


Figura 4.18: Col·locació dels tres emplaçaments de prova amb radi de simulació de 80 km per tal d'assegurar el 100% de cobertura de tot el territori estudiat.

Un cop fet això, es passa a la simulació de la cobertura de TDT i dels *White Spaces* corresponents a cada canal. Així es pot obtenir un primer retrat de l'espectre disponible a Catalunya en la banda espectral de la TDT.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

A tall d'exemple, es mostra a continuació la cobertura del senyal TDT pel canal 39 per sobre de 56 dBµV/m i el *White Space* corresponent a aquest mateix canal en les figures 4.19 i 4.20 respectivament.

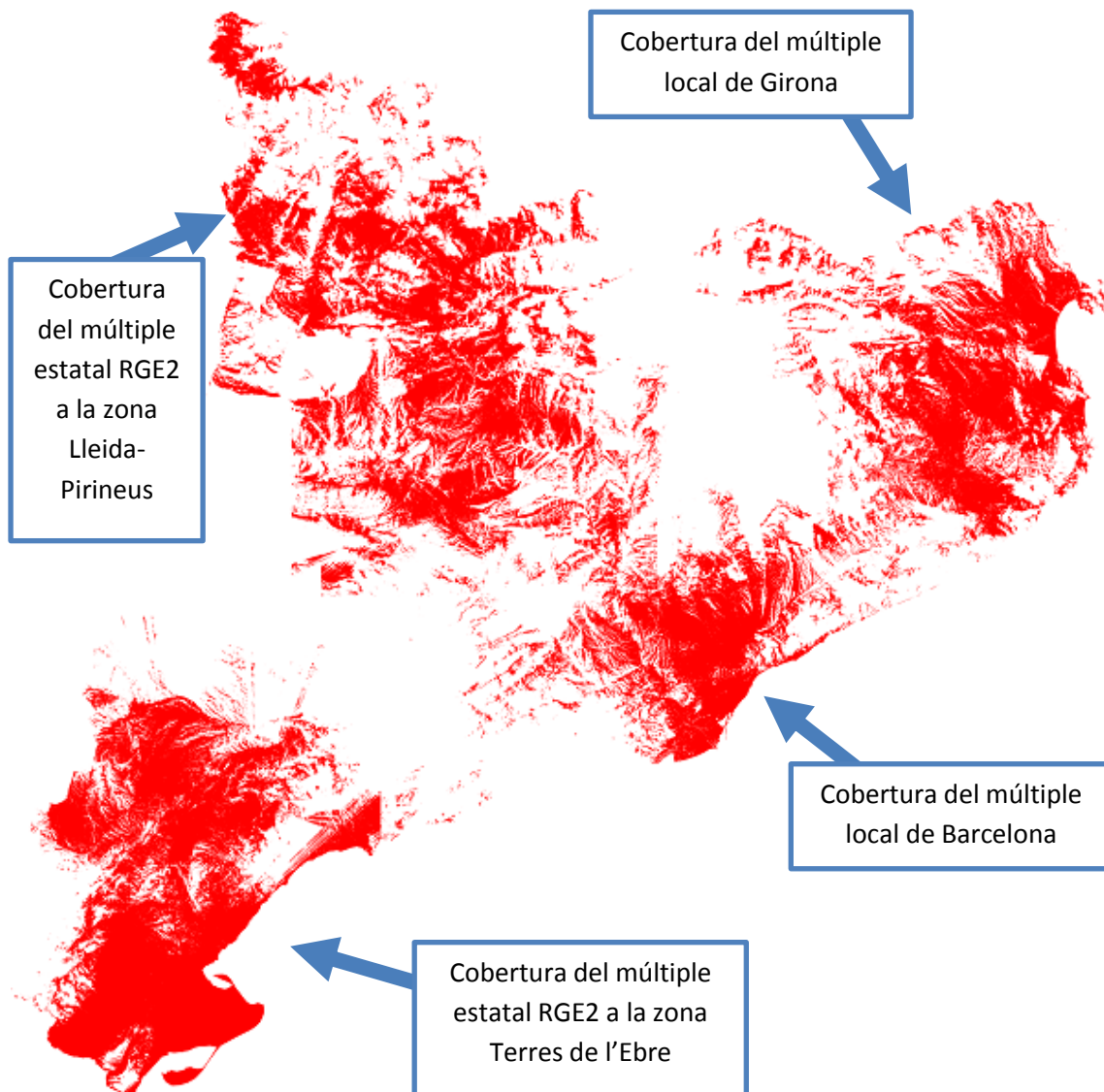


Figura 4.19: Representació de les zones cobertes (en vermell on la intensitat de camp ≥ 56 dBµV/m) del canal 39 de la banda de la TDT. S'observa com només certes zones de Catalunya estan ocupades en aquesta freqüència.

És interessant comprovar que les zones geogràfiques on presenta cobertura el canal 39 corresponen amb l'estudi previ de d'ocupació fet en el capítol 2. Si es consulta la taula 2.6, es pot observar com al canal 39 s'hi emeten dos múltiples locals (un a la província de Barcelona i un a la de Girona) i el múltiple estatal RGE2 a la zona Lleida Pirineus i a les Terres de l'Ebre. Aquesta ocupació correspon al que es pot observar en la figura 4.19.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

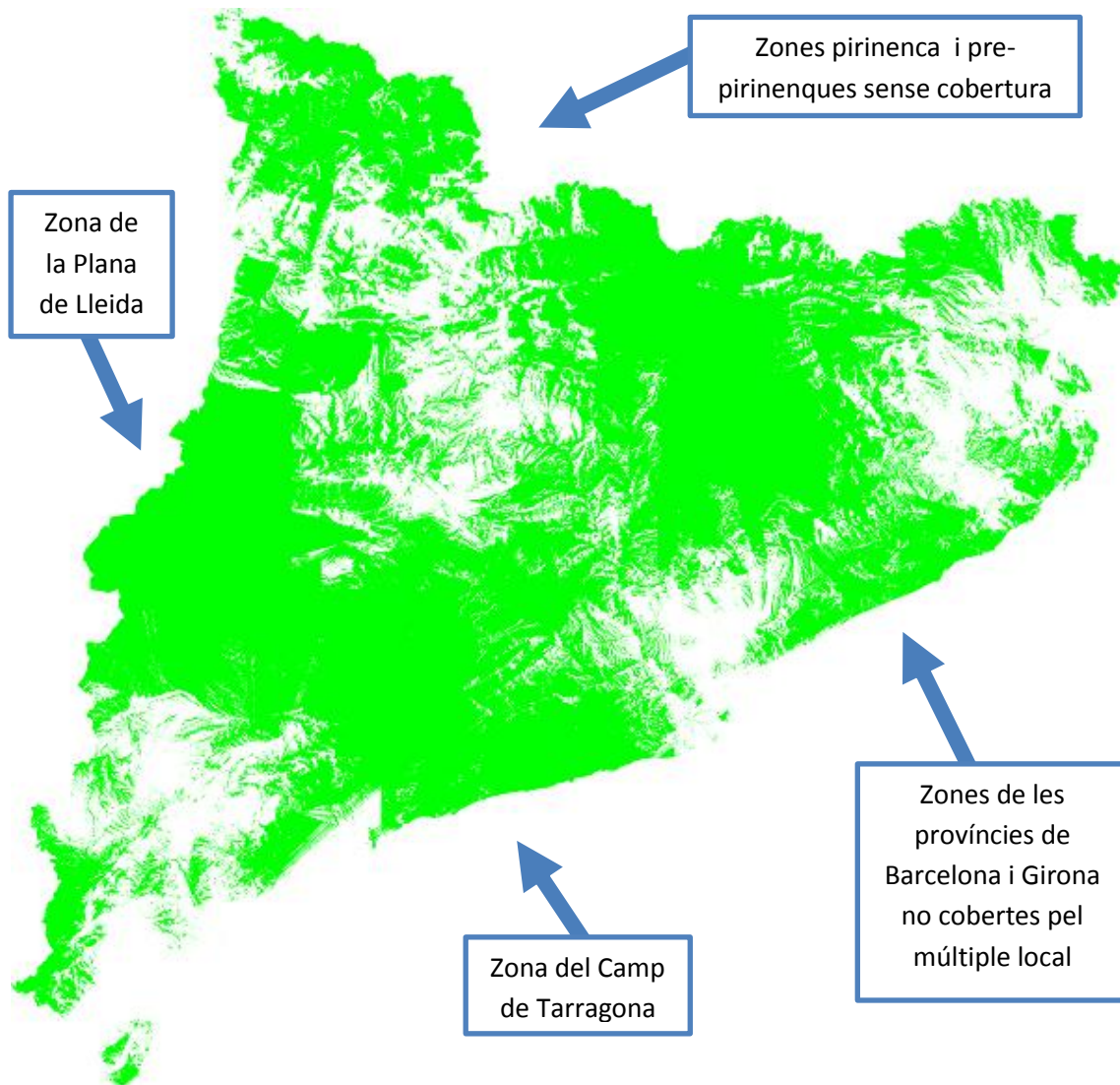


Figura 4.20: En verd, les zones de Catalunya lliures d'emissions del canal 39 de la banda de la TDT. Aquestes zones conformen el TVWS d'aquest canal.

Obtenint el *White Space* corresponent al canal 39, es visualitzen lògicament les zones on no hi ha emissió de TDT (o on aquesta és menor al llindar de $56 \text{ dB}\mu\text{V/m}$). En la figura 4.20 es poden observar quatre zones diferenciades amb el canal 39 lliure. Dues d'elles, la zona de la Plana de Lleida i del Camp de Tarragona, corresponen a les zones que es coneixia sense emissió de senyal TDT a aquesta freqüència. Una tercera és la corresponent a la part de les províncies de Girona i de Barcelona on el múltiple local no dona servei.

Per últim, cal observar una zona important del Pirineu i Prepirineu que pertany al *White Space* del canal 39, tot i que el múltiple RGE2 s'emet per aquesta zona. Això és així degut a l'orografia del terreny: grans zones muntanyoses sense poblacions on no cal donar servei de cobertura televisiva, mentre que el senyal de les emissions TDT es concentra a les valls i petits nuclis de població. És important ésser conscients d'aquesta dada, ja que totes les cobertures de *White Spaces* obtingudes tindran zones

montanyoses amb disponibilitat per a utilitzar-los per a altres serveis, però amb les dificultats de retransmissió que presenten les zones muntanyoses i amb un interès relatiu degut a la baixa densitat de població (on l'interès només seria per oferir serveis de senyalització/comunicació d'equips de rescat o aplicacions d'un caire similar).

4.5 Àrea coberta pels TVWS

Com s'acaba de veure en l'apartat anterior, les cobertures *White Space* obtingudes per a tots els canals ens donen una visió general de les zones ocupades, i també és possible saber per a un punt determinat del territori si hi ha o no l'espectre d'un canal disponible. Malgrat això, a part d'aquesta visió qualitativa és necessari un anàlisi quantitatiu dels *White Spaces*.

Una opció que ens ofereix l'eina de planificació ATOLL, és la capacitat de calcular quina àrea cobreix una simulació respecte a la *Computation Zone* (en km² o en % sobre el total del territori).

Aquesta eina és de gran importància, ja que a part d'indicar quins són els canals amb una àrea geogràfica més gran disponible per a altres usos, ens permet verificar que la simulació d'un canal i la del seu *White Space* corresponent cobreixen el 100% del territori estudiat.

Per fer això només cal accedir a l'opció *Generate Report* a sobre de les prediccions de cobertura desitjades i seleccionar les opcions que es volen mostrar (superfície coberta en %, km² de l'àrea representada, etc.).

Amb totes les prediccions de cobertura WS ja simulades, es pot obtenir l'informe de cobertura per saber la superfície lliure d'emissions de TDT al territori de Catalunya per cada canal, obtenint la taula 4.2.

Taula 4.2: Mida dels TVWS de 8 MHz (1 canal) obtinguts per a cada canal de la banda de la TDT.

<i>Name</i>	<i>TVWS Surface (km²)</i>	<i>Simulation % of Covered Area</i>	<i>TVWS % Computation Zone</i>
CANAL 21	32.029,07	100	99,8
CANAL 22	32.100,98	100	100
CANAL 23	29.499,45	100	91,9
CANAL 24	28.215,23	100	87,9
CANAL 25	31.096,49	100	96,9
CANAL 26	28.932,51	100	90,1
CANAL 27	21.746,34	100	67,7
CANAL 28	32.100,98	100	100
CANAL 29	29.504,24	100	91,9

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

CANAL 30	30.462,16	100	94,9
CANAL 31	20.940,48	100	65,2
CANAL 32	18.597,58	100	57,9
CANAL 33	27.123,77	100	84,5
CANAL 34	17.441,64	100	54,3
CANAL 35	12.966,91	100	40,4
CANAL 36	24.802,24	100	77,3
CANAL 37	30.984,98	100	96,5
CANAL 38	26.118,53	100	81,4
CANAL 39	20.976,13	100	65,3
CANAL 40	22.952,23	100	71,5
CANAL 41	30.983,74	100	96,5
CANAL 42	29.994,34	100	93,4
CANAL 43	29.812,97	100	92,9
CANAL 44	26.117,05	100	81,4
CANAL 45	24.431,97	100	76,1
CANAL 46	30.994,09	100	96,6
CANAL 47	10.821,80	100	33,7
CANAL 48	29.951,18	100	93,3
CANAL 49	25.296,89	100	78,8
CANAL 50	29.178,03	100	90,9
CANAL 51	25.796,28	100	80,4
CANAL 52	25.572,15	100	79,7
CANAL 53	24.666,62	100	76,8
CANAL 54	30.259,34	100	94,3
CANAL 55	29.418,21	100	91,6
CANAL 56	29.909,65	100	93,2
CANAL 57	27.677,90	100	86,2
CANAL 58	25.960,88	100	80,9
CANAL 59	26.131,85	100	81,4
CANAL 60	27.592,56	100	86
CANAL 61	26.998,79	100	84,1
CANAL 62	31.941,61	100	99,5
CANAL 63	32.100,98	100	100
CANAL 64	1.248,10	100	3,9
CANAL 65	32.100,98	100	100
CANAL 66	32.100,98	100	100
CANAL 67	1.245,45	100	3,9
CANAL 68	1.246,68	100	3,9
CANAL 69	1.242,28	100	3,9

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Per a cada fila de la taula, es pot veure la superfície en km² coberta pel *White Space*, el % cobert per les simulacions en aquell canal (el 100% ens indica que seguint la metodologia descrita per obtenir els WS s'ha aconseguit cobrir realment el total de la superfície no ocupada pel senyal TDT) i finalment, el % que representa aquesta superfície del WS sobre el total de la superfície de Catalunya.

Com es pot veure, hi ha diferències molt significatives d'un canal a l'altre. Cal destacar els canals 64, 67, 68 i 69, que cobreixen gairebé la totalitat del territori (96,1%) degut a les emissions dels múltiples estatals RGE, SFN67, SFN68 i SFN69 respectivament.

D'altra banda, es troben fins a 5 canals (canals 22,28, 63,65 i 66) totalment lliures, on el WS cobreix el 100% del territori.

Un resultat més visual de l'ocupació o no-ocupació de cada canal de la banda de transmissió de la TDT es pot observar en la gràfica de la figura 4.21.

Amb el desenvolupament explicat detalladament per obtenir les cobertures TVWS de cada canal, es dona per tancat aquest capítol i es deixa per al següent una més profunda interpretació dels resultats obtinguts, així com la cerca de TVWS d'un ample de banda superior al d'un canal de l'espectre de la TDT.



Figura 4.21 Gràfica de l'àrea ocupada pel senyal TDT i l'àrea del TVWS per a cada canal

5 Anàlisi dels TVWS obtinguts i procediment per a l'obtenció de *White Spaces* de més d'un canal

En aquest capítol s'analitzen les cobertures TVWS aconseguides en aquest projecte, així com s'explica l'obtenció de *White Spaces* amb un ample de banda superior al de la canalització de la banda de la TDT. Aquests resultats obtinguts permeten visualitzar, tant qualitativa com quantitativament, l'alt interès i capacitat d'aprofitament per a d'altres serveis dels TVWS trobats.

5.1 Anàlisi de les cobertures TVWS de 8 MHz obtingudes

Un cop obtingudes les cobertures per a cada canal (del 21 al 69) de la banda de la TDT és important comprendre els resultats obtinguts i analitzar-los per tal de poder obtenir conclusions i resultats a partir d'aquest projecte.

Tal i com s'ha explicat en el capítol anterior, amb l'eina de planificació ràdio ATOLL s'ha aconseguit un mapa de cobertura per a cada canal de 8 MHz de la banda 470-862 MHz. A partir d'aquest, s'ha pogut representar pel territori de Catalunya un mapa que representa la disponibilitat del TVWS de 8 MHz per a cadascun dels canals.

Com es fa notori en el gràfic 5.1, l'espai geogràfic (àrea coberta) per a cada TVWS és molt diferent per a cada canal. Per tant, és interessant representar el número de canals segons l'àrea disponible, per tal de comprovar aquesta disparitat de cobertura entre els diferents TVWS de 8 MHz.

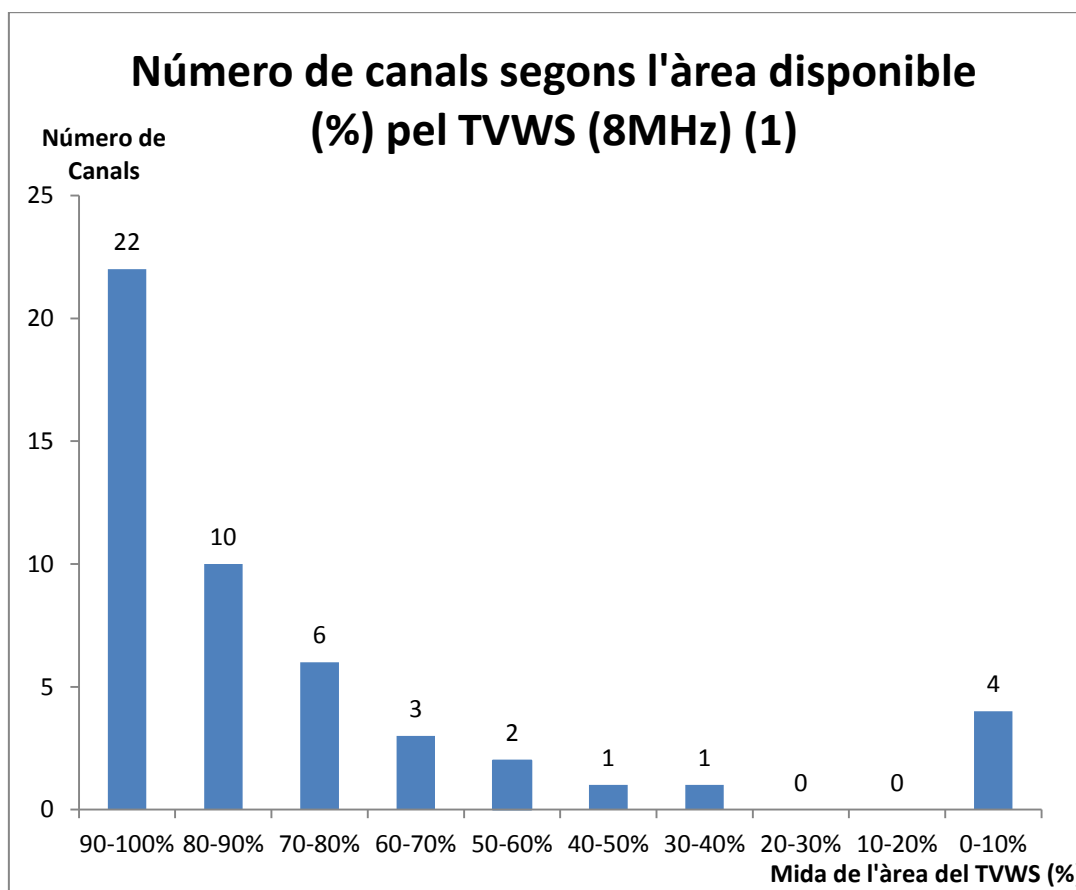


Figura 5.1: Gràfica de la quantitat de canals segons l'àrea disponible del seu TVWS de 8 MHz.

Per tal de visualitzar aquestes diferències s'han seleccionat quatre TVWS corresponents a 4 canals diferents, que es mostren a la figura 5.2 . En primer lloc, podem veure el TVWS de 8 MHz corresponent al canal 21. Es pot observar que pràcticament tota l'àrea estudiada presenta disponibilitat per a ser aprofitada per a d'altres usos (zona verda). Els canals 36 i 35 presenten en canvi una ocupació major (espai en blanc més gran), però els seus WS encara són d'utilitat ja que presenten una zona contínua prou gran disponible. Per últim podem observar el canal 67, on la superfície total del TVWS no arriba al 4% de la total de Catalunya, i a més aquesta àrea disponible (zona verda) es troba molt dispersa i aïllada. Això és degut a que el canal 67 s'utilitza per gairebé la totalitat dels centres emissors de Catalunya pel múltiple SFN 67, i les zones ocupades pel seu TVWS representen només zones d'ombra de la cobertura degut al relleu orogràfic.

Cal destacar que aquesta visió conjunta del tant per cent d'ocupació amb el mapa del TVWS és important ja que ens dona alhora una visió qualitativa i quantitativa del resultat trobat.



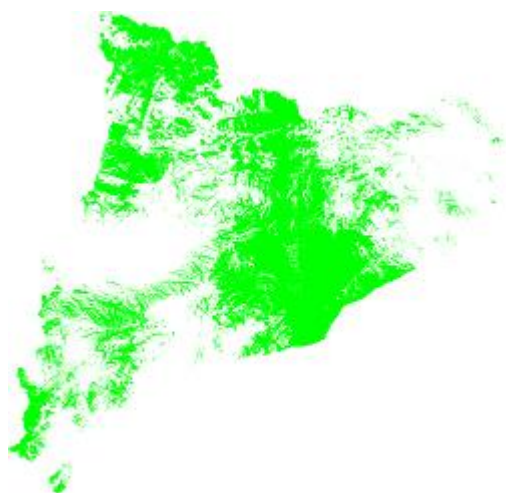
WS CANAL 21

Superfície (km²)	32.029,07
Superfície Total	99,8%



WS CANAL 36

Superfície (km²)	24.802,24
Superfície Total	77,3%



WS CANAL 35

Superfície (km²)	12.966,91
Superfície Total	40,4%



WS CANAL 67

Superfície (km²)	1.245,45
Superfície Total	3,9%

Figura 5.2 Mapes dels *White Spaces* dels canals 21,36,35 i 67 amb la extensió en km² i % de la seva àrea coberta.

Per tant, podem classificar les cobertures TVWS de cada canal en quatre categories, segons la seva àrea geogràfica disponible: canals amb un TVWS molt gran (àrea >90%) (que poden ser útils per aplicacions que requereixin cobrir gairebé la totalitat de Catalunya), canals amb un TVWS mitjà (àrea entre el 30% i el 70%) (que presenten la majoria de comarques disponibles), canals amb un TVWS baix (àrea entre el 10% i el 30%) (que poden resultar molt interessants per a serveis secundaris que comparteixin

la mateixa freqüència en un conjunt de comarques o una província) i finalment, canals amb un TVWS gairebé nul o inexistent ($\text{àrea} < 10\%$). Aquestes canals ja no podrien ser reutilitzats per altres serveis que necessitessin una zona gran amb la mateixa freqüència disponible.

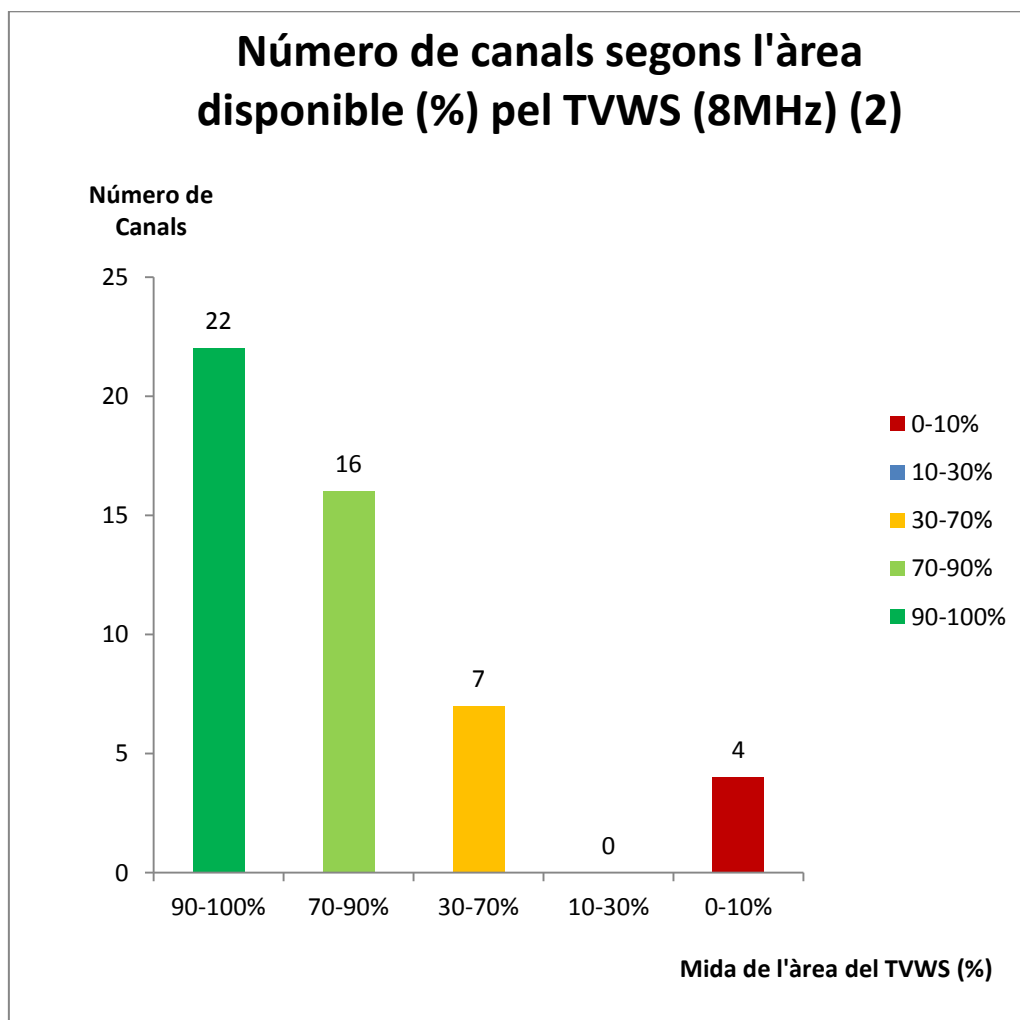


Figura 5.3: Gràfica de la quantitat de canals segons l'àrea disponible del seu TVWS de 8 MHz, classificant-los en TVWS de superfície molt gran, mitjana, baixa o gairebé nul·la o inexistent (d'esquerra a dreta).

Podem veure aquesta classificació en la figura 5.3. Tal i com es pot comprovar, la majoria de TVWS de cada canal (8MHz) tenen molt d'interès per a la seva utilització en usos secundaris d'altres serveis. Una dada que demostra la utilitat dels TVWS de la banda de televisió és que la mida mitjana del TVWS d'un canal de 8MHz és del 77,52% (resultat calculat a partir de la taula 4.2).

5.2 Cobertures TVWS de més d'un canal

Un cop descrita la metodologia per a l'obtenció de les cobertures WS per a cadascun dels canals de la banda de televisió, es pot complir el primer dels grans objectius proposats per al projecte: un mapa dels TVWS, visualitzant la ocupació/disponibilitat de cadascun dels canals. Aquestes cobertures de TVWS obtingudes per a un sol canal, que anomenarem primàries, permeten identificar els WS de 8 MHz (ample de banda de cada canal de televisió) i la seva ubicació.

Ara bé, donats dos WS de canals consecutius, és interessant de trobar la cobertura WS per als dos canals. La mida en l'espectre d'aquest nou TVWS seria de 16 MHz, i el nou mapa de cobertura ens representaria les zones lliures de l'espectre en ambdós canals a la vegada.

Com més gran freqüencialment sigui el WS trobat més interès pot tenir per a diferents usos que necessitin més ample de banda (ja sigui per donar lloc a més usuaris d'un servei secundari o per oferir serveis que necessitin un ample de banda superior als 8 MHz de la canalització de la TDT). És per aquest motiu que el següent objectiu és trobar els WS més grans espectralment, ocupant dos o més canals de TDT consecutius.

De forma més gràfica i per tal d'il·lustrar aquest procés es proposa el següent exemple, a la figura 5.4: seguint la metodologia anteriorment descrita, obtenim els WS dels canals 31 i 32. Com es pot observar, comparteixen zones de disponibilitat per als dos canals (sobretot a la zona del Camp de Tarragona i de les Terres de l'Ebre, i també a algunes zones pirinenques i pre-pirinenques occidentals).

Amb aquestes cobertures primàries de 8 MHz dels canals 31 (550-558 MHz) i 32 (558-566 MHz), podem obtenir una única cobertura secundària de 16 MHz que representarà la localització del WS d'aquesta mida ubicat a l'espai de freqüència de 550-566 MHz.

Com es pot observar, obtenint cobertures conjuntes es sacrifiquen zones lliures de l'espectre (zona de la plana de Lleida, lliure al canal 31 o la zona de la província de Barcelona, lliure al canal 32) a canvi d'obtenir zones WS més petites geogràficament però més grans espectralment.

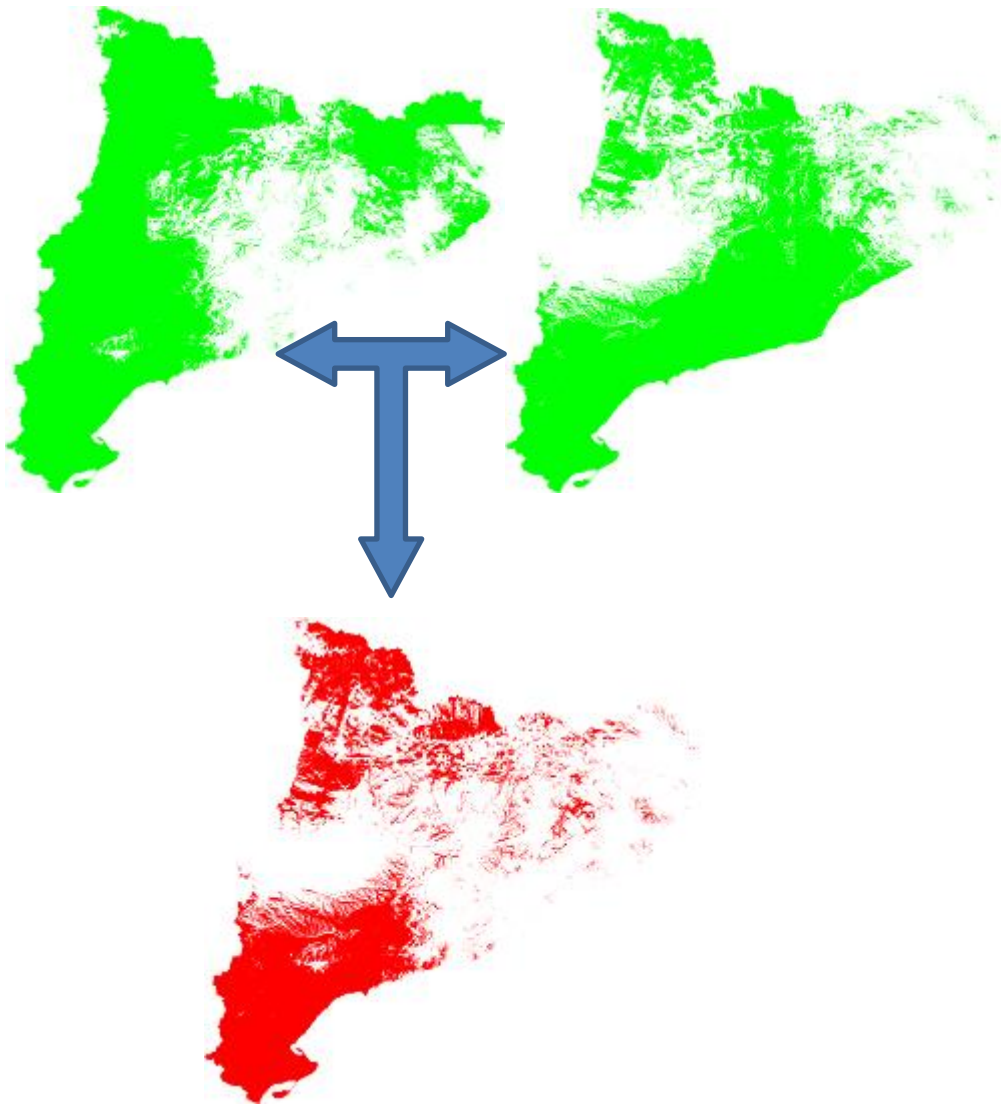


Figura 5.4: Procés utilitzat per a la combinació de dos WS de 8 MHz (1 sol canal) contigus en l'espectre de la TDT per a l'obtenció d'un WS de 16 MHz (2 canals). S'observa com l'àrea en vermell és l'àrea on es solapen de les dues cobertures primàries (en verd).

Tot i això, aquestes zones dels TVWS de 8 MHz no compartides no s'han de perdre necessàriament. Amb una correcta distribució de serveis i gràcies a la visualització de les TVWS primàries i secundàries de més d'un canal es poden utilitzar tots els WS possibles.

En el cas del nostre exemple, es pot oferir un servei que requereixi 16 MHz d'ample de banda a les zones de Terres de l'Ebre i del Camp de Tarragona ocupant el canal 31 i 32, un servei que requereixi 8 MHz d'ample de banda a les Terres de Lleida pel canal 31 i un altre servei que requereixi 8 MHz d'ample de banda per la província de Barcelona al canal 32. Això s'il·lustra de forma esquemàtica en la figura 5.5 que es presenta a continuació.

WS canal 31	Cobertura de la Zona d'un WS primari de 8 MHz		
WS canal 32		Cobertura de la Zona d'un WS primari de 8 MHz	
WS canals 31-32		Cobertura de la Zona d'un WS secundari de 16 MHz	
WS Totals	WS 8 MHz Canal 31	WS 16 MHz Canals 31-32	WS 8 MHz Canal 31

Figura 5.5: Representació esquemàtica de l'aprofitament de dues zones de cobertura de canals contigus amb el màxim ample de banda possible.

5.2.1 Metodologia i Nomenclatura per a WS secundaris de 2 o més canals

Per tal de comparar dues cobertures de TVWS de 8 MHz consecutives i buscar les zones on coincideixen (per tant, obtenir així el TVWS secundari de 16 MHz), l'eina de planificació ATOLL ens ofereix l'opció de comparar cobertures. Aquesta opció s'utilitza seleccionant una cobertura calculada i amb el botó dret desplegar el menú d'opcions, on podem escollir la de comparació (opció *Compare with*). Seleccionant la cobertura amb la que volem comparar l'original, ATOLL produeix una cobertura nova, en la que també podem fer càlculs com en les anteriors, com per exemple, el de l'àrea la seva àrea coberta.

D'aquesta manera s'ha combinat un a un els TVWS per a poder obtenir els *White Spaces* per 2 canals consecutius (8 MHz). Per tant dels 49 mapes de TVWS d'un canal (8MHz) se n'obtenen 48 de TVWS de dos canals contigus (16 MHz).

Òbviament, aquest anàlisi és extensible per a cobertures de més de dos canals contigus alhora, a fi d'obtenir TVWS més amplis spectralment. Per tant, un cop comparades totes les cobertures primàries de 8MHz i comprovar que s'obtenen els resultats desitjats, és a dir, totes les cobertures dels TVWS de 16 MHz possibles, es passa a obtenir cobertures amb un ample de banda superior.

Donat que el número de cobertures possibles tenint en compte totes les combinacions és elevat (un total de 1225 cobertures: 49 TVWS de 8 MHz, 48 TVWS de 16 MHz... fins a 1 TVWS de 392 MHz), és important mantenir una metodologia i nomenclatura adequada per tal d'obtenir-les de la forma més ràpida i ordenada possible, tenint en consideració que el programa de planificació ATOLL només permet comparar dues cobertures.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

A tall d'exemple, per obtenir una cobertura de 24 MHz (3 canals contigus) dels WS dels canals 21, 22 i 23 s'ha de fer primer la comparació dels WS 21 i WS 22 i comparar el resultat obtingut amb la del WS 23. Per tant, un cop obtinguts tots els TVWS de 2 canals, es comparen una a una amb el canal immediatament superior, donant com a resultat totes les cobertures TVWS de 3 canals i així sistemàticament fins a obtenir totes les cobertures desitjades.

Taula 5.1: Nomenclatura dels diferents White Spaces, combinant els WS primaris de 8 MHz (verd fosc) donant com a resultat tots els possibles WS amb amplitudes de banda majors.

CANAL INICIAL	NÚMERO DE CANALS COMBINATS I AMPLE DE BANDA DEL WHITE SPACE								
	1	2	3	...	19	20	...	48	49
	8 MHz	16 MHz	24 MHz	...	152 MHz	160 MHz	...	384 MHz	392 MHz
21	WS 21	WS 21-22	WS 21-23	...	WS 21-39	WS 21-40	...	WS 21-68	WS 21-69
22	WS 22	WS 22-23	WS 22-24	...	WS 22-40	WS 22-41	...	WS 22-69	
23	WS 23	WS 23-24	WS 23-25	...	WS 23-41	WS 23-42	...		
...		
67	WS 67	WS 67-68	WS 67-69						
68	WS 68	WS 68-69							
69	WS 69								

Per tal de tenir els diferents TVWS fàcilment identificats, les cobertures obtingudes s'anomenen seguint l'esquema següent: WS X MHz Y-Z, on X és el número de MHz que té la cobertura TVWS d'ample de banda i Y i Z el primer i últim canal respectivament utilitzats per a l'obtenció de la cobertura. Així, la cobertura TVWS de 24 MHz dels canals 27-28-29 s'anomenarà WS 24 MHz 27-29, o la cobertura TVWS de 72 MHz dels canals 34-35-36-37-38-39-40-41-42 s'anomenarà WS 72 MHz 34-42. A més a més, en el programa ATOLL les cobertures s'ordenen dins de carpetes per la grandària espectral dels TVWS amb un nom identificador.

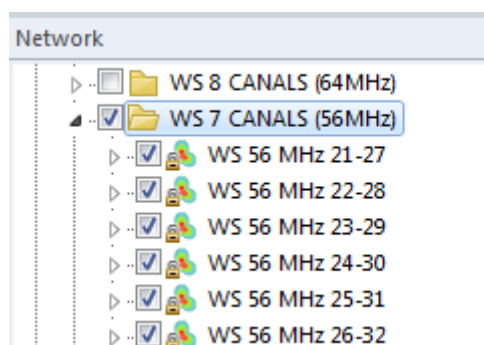


Figura 5.6. Visualització de la pestanya Network del programa ATOLL, on es mostra l'ordenació dels diferents TVWS.

5.2.2 Interpretació i classificació de les cobertures TVWS obtingudes

Amb la metodologia explicada, s'obtenen cobertures TVWS cada cop més grans espectralment. Així, es passa d'una cobertura de 8 MHz (1 canal) a una de 16 MHz (2 canals) i així successivament. És interessant remarcar que donada una cobertura, les cobertures obtingudes a partir d'ella que combinin més canals tindran necessàriament una àrea lliure menor o igual. A continuació s'exposa el cas de com evolucionen les cobertures que tenen el mateix canal d'inici (el canal 28) a mesura que anem augmentant l'ample de banda del TVWS a la figura 5.7 .

Es pot veure com la cobertura primària del TVWS del canal 28 (en verd), cobreix la totalitat de Catalunya (àrea del 100%) ja que aquest és un canal totalment lliure d'emissions de la TDT.

Pel que fa a les cobertures secundàries (en vermell), que són combinacions d'altres cobertures TVWS, podem observar primer la de 16 MHz. D'aquest WS, que combina la disponibilitat geogràfica dels WS primaris dels canals 28 i 29, podem assegurar que coincideix amb el del canal 29. Això és degut a que la combinació de dos TVWS consecutius del qual un està 100% lliure d'emissions mantindrà l'àrea del TVWS menor.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya



Àrea geogràfica dels TVWS (amb el canal inicial 28)			
TVWS	Àrea	TVWS	Àrea
WS 8 MHz	100%	WS 48 MHz	36,2%
WS 16 MHz	91,9%	WS 56 MHz	28,4%
WS 24 MHz	89,1%	WS 64 MHz	20,3%
WS 32 MHz	64,9%	WS 72 MHz	19,5%
WS 40 MHz	36,4%	WS 80 MHz	19,5%

WS 8 MHz CANAL 28



WS 16 MHz 28-29

WS 24 MHz 28-30

WS 32 MHz 28-31



WS 40 MHz 28-32

WS 48 MHz 28-33

WS 56 MHz 28-34



WS 64 MHz 28-35

WS 72 MHz 28-36

WS 80 MHz 28-37

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Figura 5.7: Mostra dels TVWS per a diferents amplituds de banda amb canal inicial 28. En verd el WS primari (8 MHz) i en vermell els WS secundaris.

Com es pot comprovar, per la resta de TVWS amb canal inicial 28 i un ample de banda major l'àrea de cada cobertura va disminuint, tal i com és d'esperar: una cobertura WS que combina 2 cobertures WS diferents tindrà una àrea disponible igual o menor que la més petita de les primeres, ja que aquesta és la intersecció de les dues àrees.

De forma general es pot afirmar que tenint dos TV *White Spaces*, WS_1 i WS_2 , amb amplituds de banda B_1 i B_2 respectivament, i les seves àrees corresponents, A_1 i A_2 i representant la combinació de les dues àrees com la seva intersecció (\cap):

$$WS_1 \cap WS_2 \rightarrow A_T = A_1 \cap A_2 \leq A_1, A_2 \text{ i que } B_T = B_1 + B_2$$

On A_T i B_T són l'àrea i l'ample de banda respectivament del White Space resultant.

Aquesta operació d'intersecció (combinació) de les àrees dels *White Spaces* és la que es fa per a l'obtenció de cadascun dels diferents TVWS estudiats en aquest projecte.

Un altre fenomen que es pot observar a la figura 5.7 és la baixada progressiva de l'àrea dels WS a mesura que incrementem l'ample de banda, fins a un estancament al voltant del 20%. Així, les tres últimes cobertures representades, corresponents als WS 64 MHz, WS 72 MHz i WS 80MHz (8, 9 i 10 canals), tenen una àrea respecte al total de Catalunya del 20.3%, 19.5% i 19.5% respectivament. Qualitativament s'observa com són gairebé idèntiques.

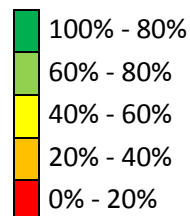
Si s'estudien, es veu com aquesta àrea disponible per aquests *White Spaces* simplement representen les zones muntanyoses/despoblades on no és necessari emetre senyal TDT per a la manca d'usuaris. Aquestes zones on no arriba la senyal són gairebé idèntiques a tots els canals i per aquest motiu, un cop arribat al llindar del 20% les combinacions de *White Spaces* no ofereixen més informació de la coneguda. Així s'ha simulat *White Spaces* amb un màxim de 160 MHz (veure taula 5.2), equivalents a 20 canals combinats.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Taula 5.2: Àrea disponible (%) per a cada cobertura WS calculada, dels 8 MHz fins als 160 MHz. En verd els TVWS amb més àrea geogràfica. En groc i taronja amb una mida mitjana i en vermell amb àrees lliures d'emissió de TDT molt disperses i poc aprofitables com a *White Spaces*.

CANAL	AMPLE DE BANDA DEL WHITE SPACE (MHz)																			
INICIAL	8 MHz	16 MHz	24 MHz	32 MHz	40 MHz	48 MHz	56 MHz	64 MHz	72 MHz	80 MHz	88 MHz	96 MHz	104 MHz	112 MHz	120 MHz	128 MHz	136 MHz	144 MHz	152 MHz	160 MHz
21	99,8	99,8	91,7	82	79,1	76	56,1	56,1	56,1	55,8	55,1	35,3	35,2	27,5	19,5	18,8	18,8	18,8	18,6	18,5
22	100	91,9	82,2	79,2	76,1	56,3	56,3	56,3	55,9	55,2	35,4	35,2	27,5	19,5	18,8	18,8	18,8	18,6	18,5	18,5
23	91,9	82,2	79,2	76,1	56,3	56,3	56,3	55,9	55,2	35,4	35,2	27,5	19,5	18,8	18,8	18,8	18,6	18,5	18,5	18,5
24	87,9	84,9	78,4	56,3	56,3	56,3	55,9	55,2	35,4	35,2	27,5	19,5	18,8	18,8	18,8	18,6	18,5	18,5	18,5	18,5
25	96,9	88,4	62	62	62	61,6	60,9	36,2	36	28,3	20,2	19,5	19,4	19,4	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
26	90,1	63,5	63,5	63,5	63,1	61,7	36,2	36,1	28,3	20,2	19,5	19,4	19,4	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
27	67,7	67,7	67,7	67,4	64,7	36,3	36,1	28,4	20,3	19,5	19,5	19,5	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
28	100	91,9	89,1	64,9	36,4	36,2	28,4	20,3	19,5	19,5	19,5	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
29	91,9	89,1	64,9	36,4	36,2	28,4	20,3	19,5	19,5	19,5	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
30	94,9	64,9	36,4	36,2	28,4	20,3	19,5	19,5	19,5	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19
31	65,2	36,7	36,5	28,7	20,3	19,6	19,5	19,5	19,3	19,2	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	18,8
32	57,9	45,9	28,7	20,3	19,6	19,5	19,5	19,3	19,2	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	18,8	18
33	84,5	54,1	20,3	19,6	19,5	19,5	19,3	19,2	19,2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	18,8	18	17,4
34	54,3	20,5	19,7	19,7	19,7	19,7	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,2	19,2	19,2	18,9	18,1	17,4	14,5
35	40,4	39,2	37,1	37,1	32,2	30,6	30,4	30,3	29,2	26,4	26,4	26,4	19,9	19,9	19,8	19,5	18,5	17,9	14,9	14,8
36	77,3	74,2	66,6	45,6	39	38,7	38,7	37,6	34,7	34,7	34,7	19,9	19,9	19,9	19,5	18,5	17,9	14,9	14,8	13,9
37	96,5	77,9	52	40,1	39,8	39,7	38,7	35,8	35,8	35,8	20,8	20,8	20,7	20,3	19	18,3	15,4	15,3	13,9	13,8
38	81,4	54,1	41,6	41,3	41,2	39,9	36,3	36,3	36,3	20,8	20,8	20,7	20,4	19,1	18,4	15,4	15,3	14	13,9	13,8
39	65,3	51,5	50,4	49,4	48	43,1	36,3	36,3	20,8	20,8	20,7	20,4	19,1	18,4	15,4	15,3	14	13,9	13,8	13,7
40	71,5	68,3	64,5	60,7	53,5	45	45	20,9	20,9	20,8	20,4	19,1	18,4	15,5	15,4	14,1	13,9	13,9	13,7	13,6
41	96,5	91	84,1	75,4	66,5	66,5	21	21	20,9	20,5	19,2	18,5	15,5	15,4	14,1	14	14	13,8	13,6	13,5
42	93,4	86,6	76,1	67	67	21,1	21,1	21	20,7	19,3	18,6	15,7	15,6	14,2	14,1	14,1	13,9	13,7	13,6	13,5
43	92,9	80,1	67,2	67,2	21,1	21,1	21,1	20,7	19,4	18,7	15,7	15,6	14,3	14,1	14,1	14	13,8	13,6	13,5	13,5
44	81,4	68,1	68,1	21,1	21,1	21,1	20,7	19,4	18,7	15,7	15,6	14,3	14,1	14,1	14	13,8	13,6	13,5	13,5	13,5
45	76,1	76,1	21,6	21,3	21,2	20,9	19,5	18,8	15,8	15,7	14,4	14,2	14,2	14	13,9	13,7	13,6	13,6	13,6	3,9
46	96,6	33,7	33,4	33,4	32,9	27,2	21,7	18,6	18,5	17,2	17,1	17	16,9	16,6	16,1	16	16	16	3,9	
47	33,7	33,4	33,4	32,9	27,2	21,7	18,6	18,5	17,2	17,1	17	16,9	16,6	16,1	16	16	16	3,9		
48	93,3	73	69,5	53,1	45,5	39,1	38,2	36,2	35,8	33,4	33,1	30,7	30	27	27	27	3,9			
49	78,8	75,2	57,3	49,7	39,9	39	37	36,6	34,2	33,9	31,5	30,7	27,1	27,1	27,1	3,9				
50	90,9	72,3	61,3	48,8	47,8	45,7	45,3	42,3	41,8	39,3	38,5	31,9	31,9	31,9	3,9					
51	80,4	65	52,3	51,3	49,2	48,8	45,8	45,3	42,7	41,6	33	33	33	3,9						
52	79,7	65,2	59,7	57,5	56,4	52,2	51,7	44,7	43	34,3	34,3	34,3	3,9							
53	76,8	71,3	69,1	68	63,6	62,7	55,1	43,2	34,5	34,5	34,5	3,9								
54	94,3	85,9	83,7	75,7	67,4	59,7	47,8	34,8	34,8	34,8	3,9									
55	91,6	86,8	76	67,6	59,8	47,9	35	35	35	3,9										
56	93,2	82,4	69,7	61,9	49,7	36,8	36,8	36,8	3,9											
57	86,2	70,3	62,2	50	37	37	37	3,9												
58	80,9	64,3	52	38,8	38,8	38,8	3,9													
59	81,4	68,5	55,2	55,2	55,2	3,9														
60	86	71,1	70,6	70,6	3,9															
61	84,1	83,6	83,6	3,9																
62	99,5	99,5	3,9																	
63	100	3,9																		
64	3,9																			
65	100	100	3,9																	
66	100	3,9																		
67	3,9																			
68	3,9																			
69	3,9																			

Àrea coberta



Aquesta gràfica mostra tots els TVWS calculats amb un nombre indicant el percentatge d'àrea total que cobreixen. La primera columna, correspon als percentatges d'ocupació dels WS primaris de cada canal (8 MHz). A mesura que es calculen els WS d'ample de

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

banda més gran (avançant cap a la dreta en la taula), es combina el WS amb el següent WS primari consecutiu.

Així doncs aquesta representació ens dona una taula esgraonada en diagonal a mesura que ampliem l'ample de banda dels *White Spaces*. Això s'explica degut a que l'últim canal (69) ja no pot ésser el canal inicial d'un TVWS de 16 MHz, ja que no existeixen més canals en aquest extrem de la banda de televisió digital. També cal mencionar que ja no s'han calculat més combinacions possibles per a TVWS secundaris que continguin els canals 64, 67, 68 i 69 ja que aquests ja es consideren totalment ocupats (només un 3.9 % de WS, corresponent a zones de muntanya i d'orografia complicada i sense població).

En aquesta taula també es pot observar el fenomen descrit a la figura 5.8, veient com el percentatge de territori cobert disminueix a mesura que s'incrementa l'ample de banda del TVWS (percentatge decreixent d'esquerra a dreta).

Aquesta particularitat i el fet de que els càlculs pels diferents mapes es propaguin en diagonal tal com s'ha mencionat, ha mostrat aquesta representació molt robusta a l'hora de verificar les dades i corregir errors deguts al nombre elevat de cobertures a manipular. Així, els errors (deguts a comparar una cobertura equivocada o de forma errònia) es propaguen també en diagonal, mentre que per una ràpida verificació es pot comprovar que cada valor de la graella sigui major que el de la seva dreta.

Taula 5.3: Fàcil detecció d'un error en la combinació de cobertures. El valor de l'àrea obtinguda ha de ser menor a mesura que augmenta l'ample de banda del TVWS.

CANAL INICIAL	...	80 MHz	88 MHz	96 MHz	104 MHz	112 MHz
21	...	55,8	55,1	35,3	17,3	27,5
22	...	55,2	35,4	17,3	27,5	19,5
23	...	35,4	17,3	27,5	19,5	18,8
24	...	35,2	27,5	19,5	18,8	18,8
25	...	28,3	20,2	19,5	19,4	19,4

En el fragment de la taula 5.3 es pot veure un error que es va trobar. En aquest cas, al realitzar la cobertura TVWS de 88 MHz (canals 23-33) amb canal inicial 23 es va cometre una errada. Per obtenir aquesta cobertura calia combinar el TVWS de 80 MHz amb canal inicial 23 (canals 23-32) amb el TVWS de 8 MHz amb canal inicial 33. En fer-ho, es va confondre una cobertura en la selecció i es va obtenir un resultat incorrecte. Aquest es pot observar comprovant que hi ha valors menors que els quadres situats més a la dreta (quadres en blau).

La propagació d'errors en diagonal i la seva detecció en horitzontal va ser útil a l'hora de verificar la taula i re-calcular només els TVWS necessaris.

Com s'ha comprovat a la taula 5.2, es pot observar com disminueix la superfície de Catalunya que cobreix un TVWS a mesura que combinem més canals per la creació d'aquest (és a dir, ampliant el seu ample de banda). És interessant observar quina tendència segueix aquesta disminució, calculant l'àrea de cobertura en mitjana segons l'ample de banda dels WS. Aquesta tendència es pot observar en la figura 5.9 presentada a continuació.

Com es pot observar, es presenten dues gràfiques alhora. En primer lloc, en color vermell, s'uneixen els punts que mostren la mitjana de superfície coberta per als TVWS d'un ample de banda determinat, tenint en compte tots els TVWS que s'han calculat.

També es va creure convenient de fer una distinció entre els TVWS calculats i els TVWS que es consideren aprofitables, seguint el mateix criteri utilitzat fins ara, és a dir tenir una cobertura del territori de Catalunya igual o superior al 20%. Per tant aquesta mitjana (gràfica en verd) sols té en compte les cobertures que no estan representades en vermell a la taula 5.2.

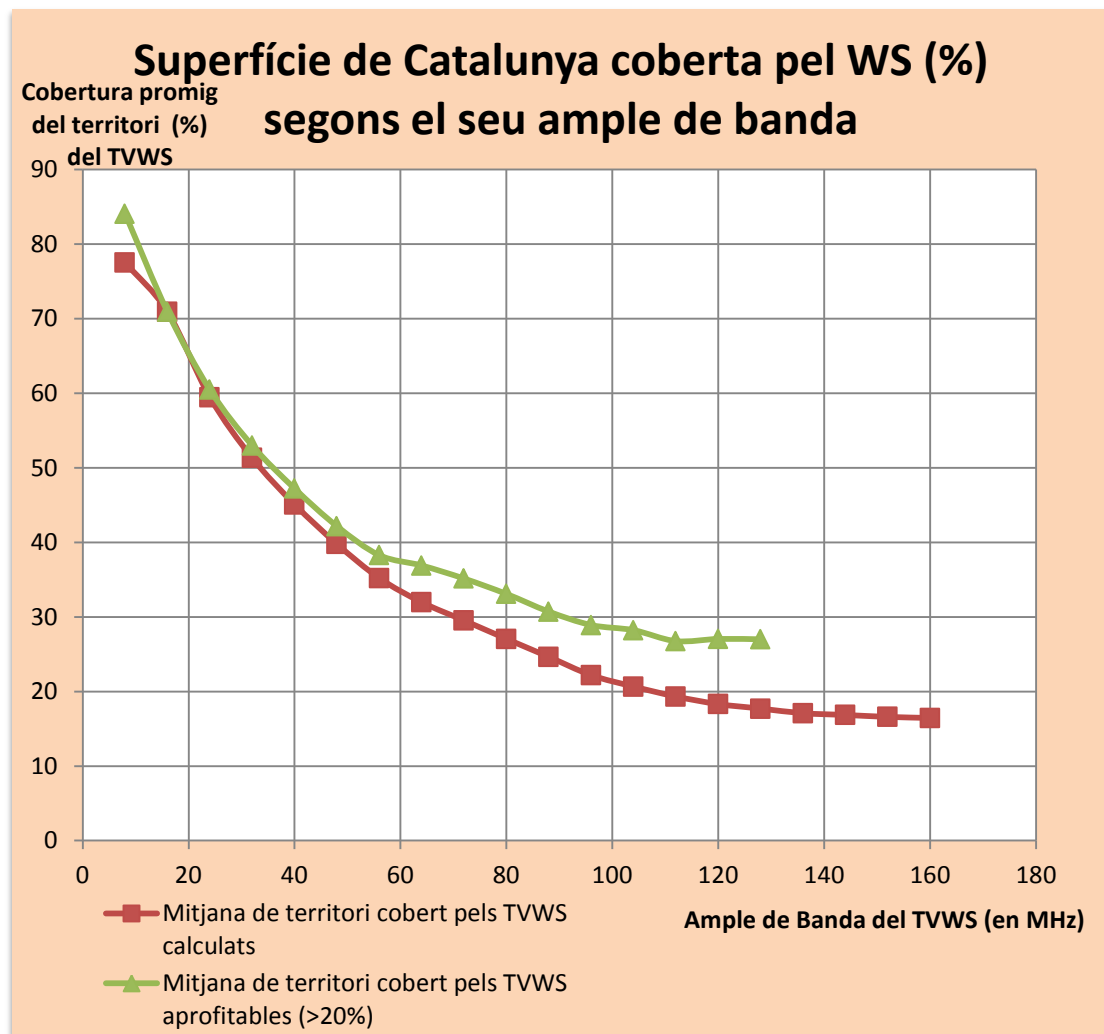


Figura 5.9: Evolució de la superfície coberta de Catalunya en mitjana a mesura que s'augmenta l'ample de banda (i per tant el número de canals contigus combinats) del TVWS.

En la gràfica que representa la mitjana de territori cobert pels TVWS calculats (en vermell), es pot apreciar com disminueix l'àrea coberta en mitjana a mesura que s'augmenta l'ample de banda dels TVWS, i com es produeix un estancament a un valor al voltant del 16%.

Com ja s'ha comentat, a partir d'aquest valor d'àrea coberta, els WS no és d'utilitat ja que només representa les àrees de difícil cobertura sense població. Per tant, s'ha decidit no simular més cobertures de canals d'ample de banda superior als 160 MHz (cobertures *White Space* de 20 canals contigus), ja que no aportaven nova informació.

Per altra banda, s'observa com la gràfica que representa la mitjana de territori cobert pels TVWS aprofitables (>20%)(en verd), queda tallada a partir de 128 MHz, ja que, com es pot comprovar en la taula 5.2 no existeix cap TVWS amb un ample de banda superior que doni cobertura a més del 20% del territori estudiat.

A més a més s'ha volgut representar en la figura 5.10 una altra gràfica d'interès que ens permeti conèixer la màxima cobertura de territori per a un ample de banda fixat dels TVWS. Així doncs, aquesta gràfica ens permet conèixer la cobertura mínima de territori garantida de TVWS per a un ample de banda determinat, ja que s'ha representat el percentatge de cobertura del TVWS que comprèn més territori de tots els *White Spaces* possibles per un determinat ample de banda.

Per a una millor interpretació de la gràfica de la figura 5.10, cal afegir també que és d'utilitat per a, donat un percentatge del territori per al qual es vol oferir un servei secundari en el *White Space*, conèixer l'ample de banda màxim del TVWS que compleixi aquest requeriment de cobertura.

Per exemple, si es desitja ubicar en l'espectre de la TV un servei secundari que doni cobertura a almenys al 80% del territori, es poden usar TVWS de 8, 16, 24 o 32 MHz, o si es vol donar cobertura a almenys el 50% de Catalunya, es disposa de *White Spaces* de fins a 88 MHz que compleixen aquestes especificacions.

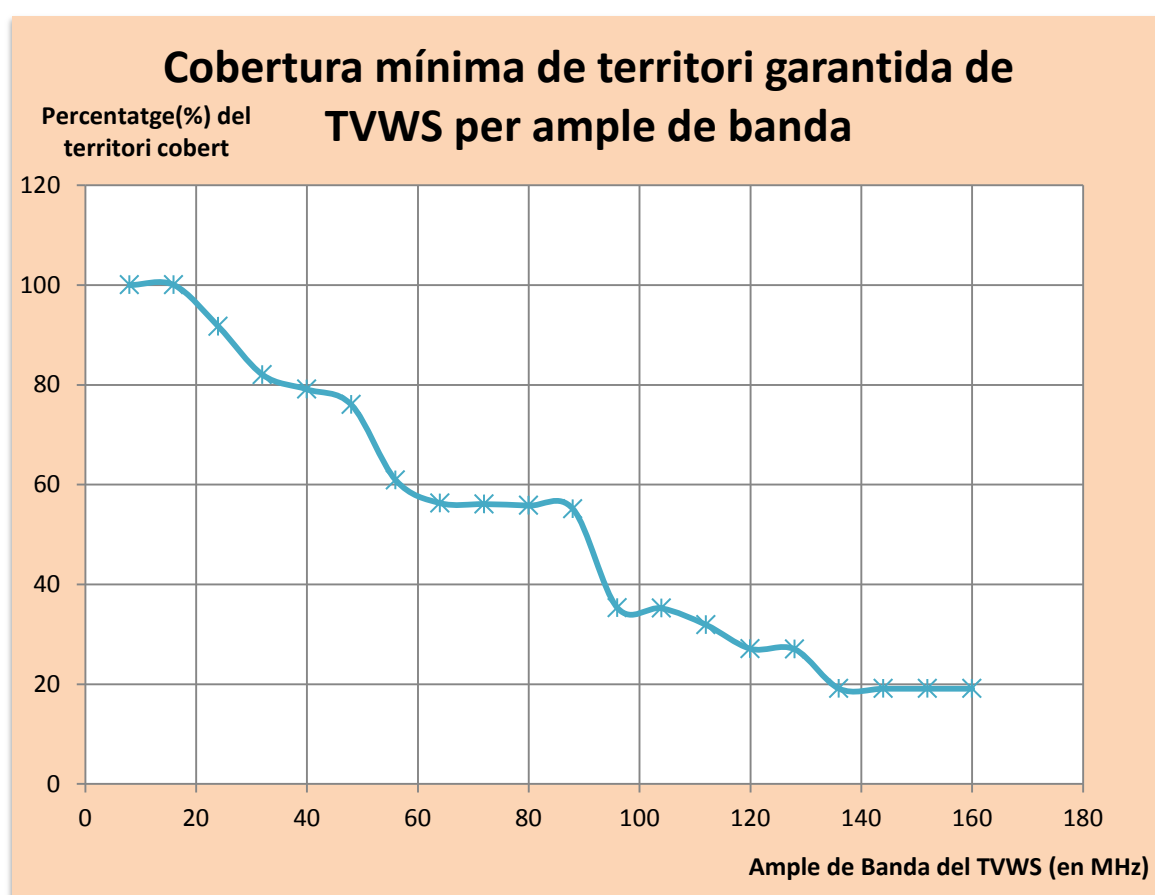


Figura 5.10 Gràfica de la cobertura mínima garantida de TVWS per ample de banda.

6 Opcions de visualització de les cobertures TVWS

En aquest capítol es presenten les diferents opcions presentades per la visualització de les cobertures TVWS trobades. A part del projecte creat amb l'eina de planificació ràdio Atoll, s'ha cregut convenient buscar altres formats per a facilitar la consulta dels resultats obtinguts, com la visualització dels mapes de cobertura amb el programa gratuït Google Earth i la realització d'un lloc web per fer més accessibles els resultats i mapes de cobertura dels TVWS.

6.1 Visualització de les cobertures TVWS al programa de planificació ATOLL

Un cop realitzades les simulacions de totes les cobertures TVWS de Catalunya, és necessari poder disposar d'elles per a la seva consulta o posterior estudi. La visualització de les cobertures TVWS obtingudes al projecte Atoll (en un fitxer d'extensió *.atl*) és la manera de poder obtenir més informació i més opcions de mostrar els mapes o les dades d'interès.

Per a facilitar la manipulació de totes les cobertures simulades, s'ha optat per ordenar-les en carpetes segons el seu ample de banda en MHz, o el que és equivalent, el nombre de canals contigus implicats en el càlcul del *White Space*.

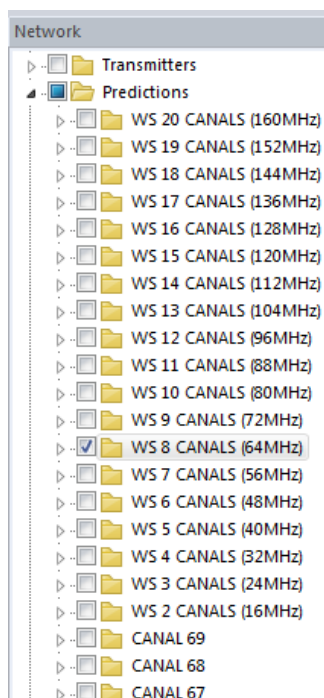


Figura 6.1: Detall de la pestanya Network, amb les prediccions de cobertura ordenades en carpetes segons el seu ample de banda, o canal a canal en el cas de cobertures primàries TVWS de 8 MHz. En aquest cas, es visualitzarien només les cobertures *White Space* de 8canals (56 MHz).

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

Així tal i com es pot observar en la figura 6.1, hi ha 19 carpetes, per als WS de 16 MHz (2 canals) als de 160 MHz (20 canals). Per als TVWS d'un sol canal, s'ha preferit una carpeta per a cada canal, on a l'interior podem trobar tant el *White Space* d'aquest canal, com l'àrea de Catalunya coberta per emissions de TDT en aquesta freqüència.

6.1.1 Opcions de visualització d'elements d'interès de forma conjunta amb les cobertures

Una forma de visualitzar les cobertures TVWS, és la que ja s'ha mostrat fins ara al projecte en les figures que incloïen mapes de cobertura.



Figura 6.2: Representació del TVWS primari de 8 MHz del canal 47.

Es pot ahora visualitzar aquest TVWS primari (d'un sol canal) amb la zona ocupada per emissions TDT en aquest canal. Pot ser interessant, com és en el cas de la figura 6.3, incloure diferents capes extres, (en aquest cas els límits comarcals) en la pestanya *Geo*, per tal de poder comprendre millor la informació del mapa. En aquest cas es mostren diferents tipus de capes que es poden importar (límits administratius de Catalunya).

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

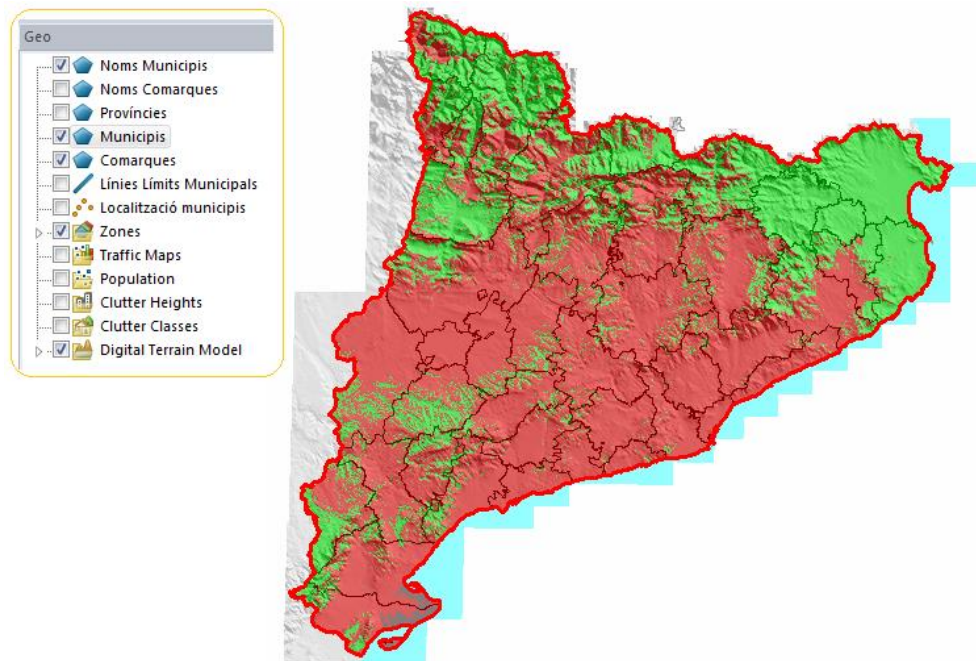


Figura 6.3: Visualització de les diferents capes importades a la pestanya Geo. A la dreta, la cobertura TVWS del canal 47 (verd) representada conjuntament amb l'àrea ocupada per emissions de la TDT (vermell), amb els límits comarcals visibles.

També es poden visualitzar els noms dels municipis i els límits municipals per exemple, com es detalla en la figura 6.4, on es visualitza en detall la cobertura del WS de 8 MHz del canal 47. En aquesta figura es pot observar també amb detall la bona resolució obtinguda pels càlculs de cobertura: el model d'elevació digital té una resolució de 5 metres, i els càlculs de propagació s'han realitzat amb una resolució de 20 metres. Això ens permet, en aquesta figura, veure en detall les zones en verd corresponents a zones d'ombra degut al relleu de les muntanyes, amb una intensitat de senyal de TDT inferior al llindar ($56 \text{ dB}\mu\text{V/m}$).

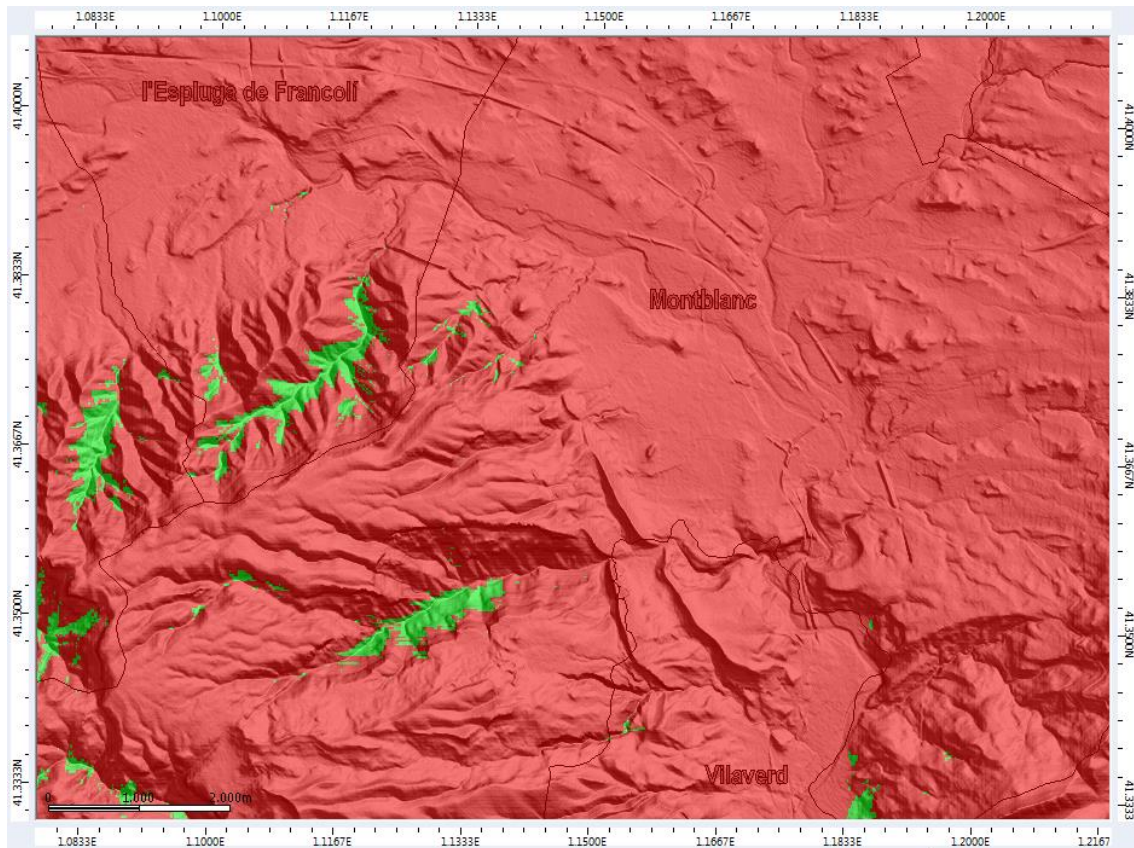


Figura 4.4: Detall de la cobertura del canal 47 on es poden observar amb detall diverses zones d'ombra, lliures d'emissió, al municipi de Montblanc.

A part d'aquesta informació, a més a més també es poden visualitzar els emplaçaments on es troben els transmissors, o bé informació geogràfica sobre el punt exacte en latitud i longitud al lloc on es situï el cursor.

6.1.2 Opcions de visualització de dues o més cobertures TVWS de forma simultània. Exemple de consulta dels mapes

El programa Atoll ens permet visualitzar simultàniament totes les cobertures que siguin seleccionades. Això ens permet obtenir informació rellevant, com saber quin és el l'ample de banda del TVWS més gran en una zona, o consultar quines localitzacions tenen un o més TVWS d'un ample de banda determinat.

A continuació, s'exemplifica l'ús del treball realitzat en consultes que poden ser d'interès en aquesta base de dades de TVWS. Les diferents consultes estan il·lustrades amb captures obtingudes de visualitzacions del projecte amb ATOLL.

A tall d'exemple, es proposa consultar els TVWS amb un ample de banda de 56 MHz (7 canals contigus). Seleccionant en el desplegable de les prediccions de cobertura generada la carpeta que conté totes les cobertures TVWS de 7 canals, el programa ens mostra alhora totes les cobertures TVWS solapades. Això és pot observar a la figura

6.5, on els diferents tons de vermell representa la quantitat de cobertures solapades disponibles a cada punt.

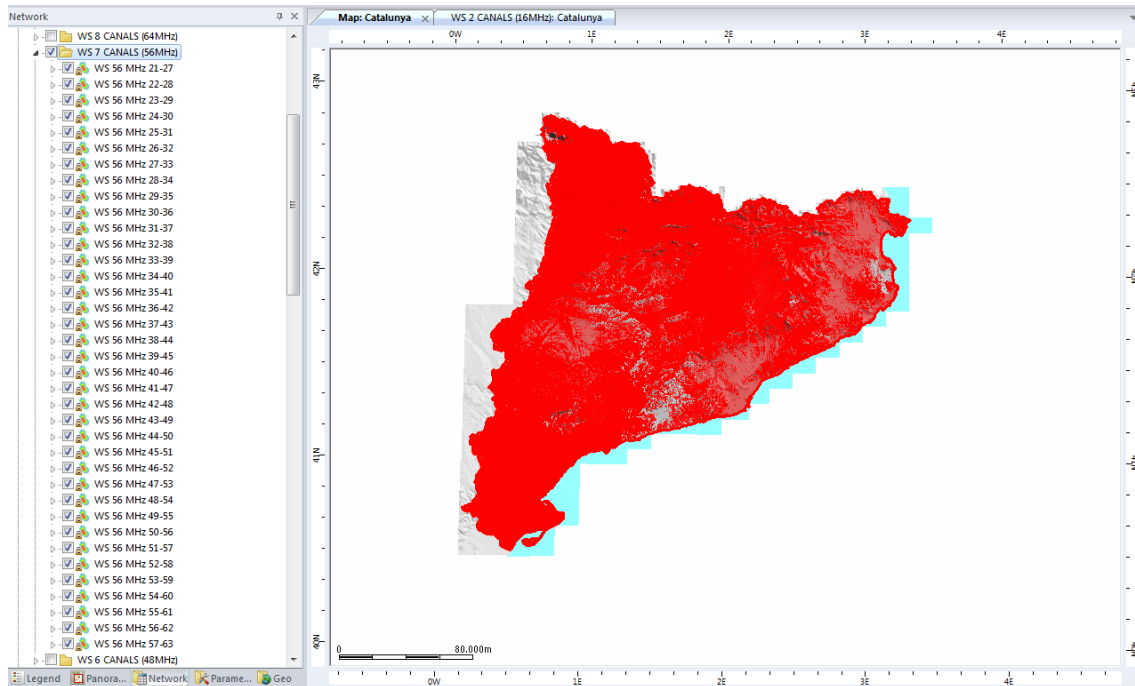


Figura 6.5: Visualització de tots els TVWS de 7 canals (56 MHz). A l'esquerra es pot observar l'organització en carpetes de la pestanya Network, amb totes les cobertures seleccionades. Al mapa de la dreta es pot observar els punts del mapa que presenten alguna tonalitat de vermell (un o més TVWS) i zones grises, amb cap TVWS de 56 MHz disponibles.

Sobre el mapa que presenta totes les cobertures TVWS de 7 canals, es pot saber quines cobertures de les que està activada la seva visualització hi ha disponibles a cada punt. Si es col·loca el cursor en un qualsevol punt del mapa, apareix un quadre de text amb el nom de les prediccions de cobertura disponibles per aquell punt. Com es pot observar en la figura 6.6, per un punt del mapa hi ha 8 *White Spaces* de 56 MHz disponibles. Aquestes s'indiquen amb la nomenclatura explicada en el capítol anterior (WS *ample de banda* MHz *canal inicial-canal final*).

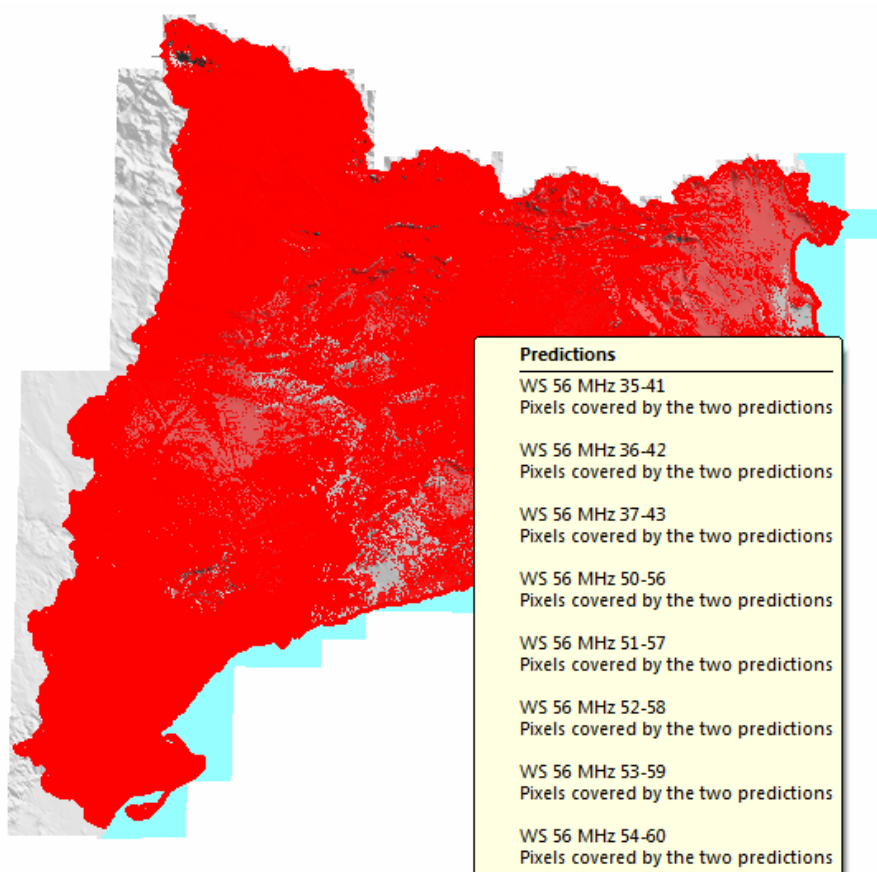


Figura 6.6: Visualització de totes les cobertures TVWS de 56 MHz (7 canals), amb el quadre de text que ens mostra les cobertures disponibles per a un punt seleccionat del mapa.

Si per exemple, es vol consultar la disponibilitat dels TVWS d'aquest ample de banda a Barcelona, es situa el cursor a sobre de Barcelona en el mapa (el cursor indica en tot moment les coordenades del punt exacte on assenyalava a sobre del model d'elevació digital) figura 6.7, es pot comprovar com ara tan sols existeix una cobertura disponible (el WS de 56 MHz dels canals 54-60). Un cop identificat aquest *White Space*, si es selecciona únicament aquesta cobertura per a mostrar, es pot veure el seu abast individualment.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

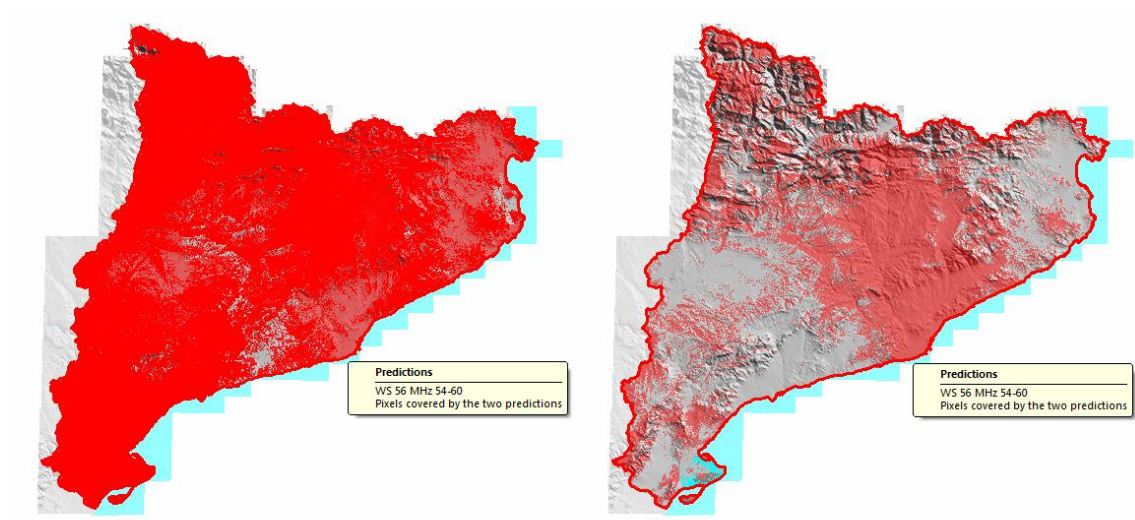


Figura 6.7: A l'esquerra totes les cobertures TVWS de 56 MHz (7canals), amb el cursor situat a sobre un punt de Barcelona, on el quadre de text ens indica quina és la cobertura disponible en aquest punt de totes les de 56 MHz. A l'esquerra, la visualització individual d'aquesta cobertura.

Aprofitant la resolució del model digital i de la simulació, es pot aplicar un zoom a la zona en concret, tal i com s'observa en la figura 6.8. Es veu com la cobertura TVWS dels canals 54-60 cobreix tota l'àrea visible. També s'observen petites zones en vermell més fosc, on hi és present una altre WS de 7 canals. En aquesta captura, s'observen també les capes superposades amb els límits municipals i els noms municipals i comarcals. Es pot veure (requadre en groc a la part inferior de la imatge) les coordenades del punt sobre el que es fa la consulta, així com la seva alçada sobre el nivell del mar.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

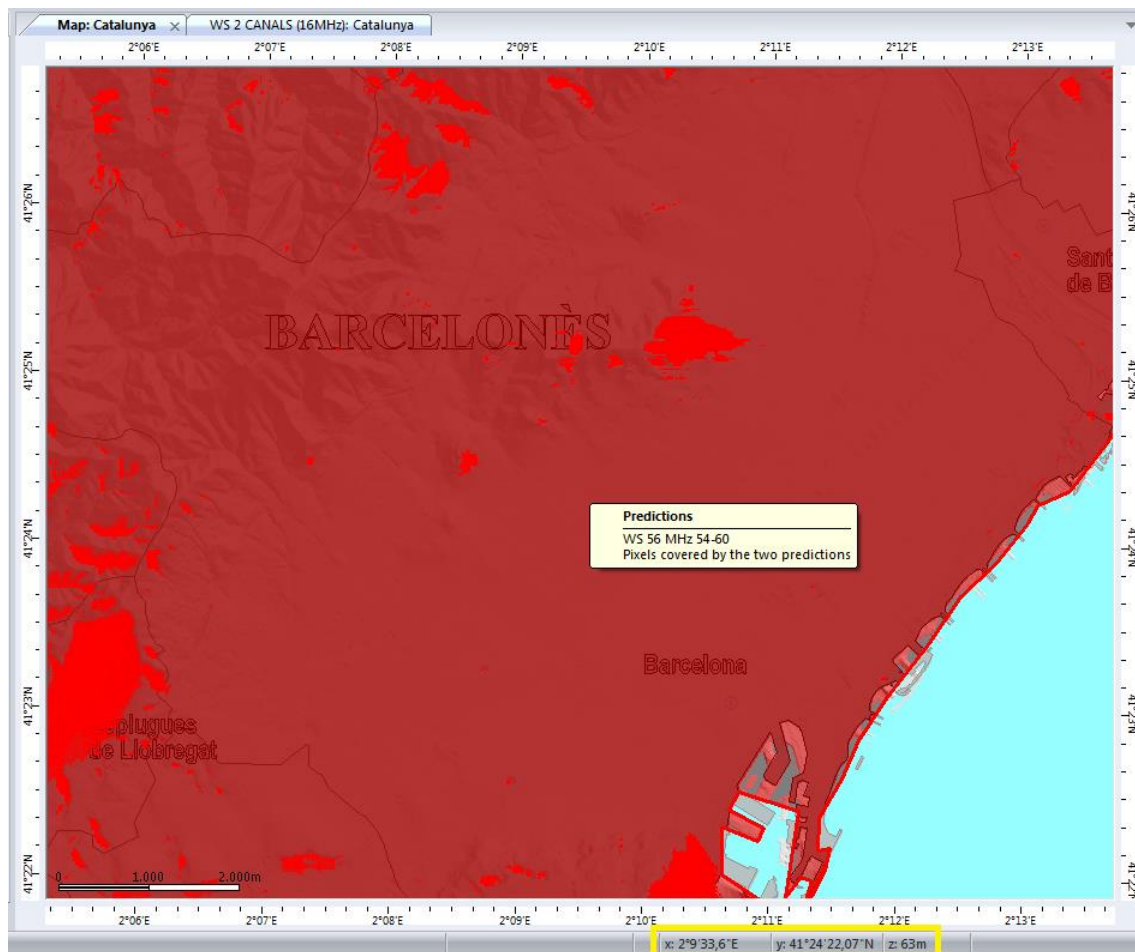


Figura 6.8: Zoom aplicat a la zona de Barcelona, amb els WS de 56 MHz activats. Es pot veure quin es el WS que hi ha a cada punt, zones amb solapament de TVWS, els límits municipals i els noms de la comarca i dels municipis. A la part inferior, ressaltada en groc, es poden visualitzar les coordenades del punt geogràfic on fem la consulta del TVWS i l'alçada d'aquest punt respecte el nivell del mar.

Un cop identificat aquest *White Space*, es pot realitzar un altra consulta. En aquest cas es proposa representar tots els TVWS de 10 canals (80 MHz), visibles a la figura 6.9. Aquí es pot observar com s'ha inclòs una capa d'informació sobre els municipis, que indica el nom i la superfície del municipi on es situï el cursor. Tal i com es veu Barcelona no disposa d'un TVWS de 80 MHz (10 canals) d'ample de banda. Per tant, també es pot afirmar que no hi haurà TVWS d'ample de banda superior en el mateix.

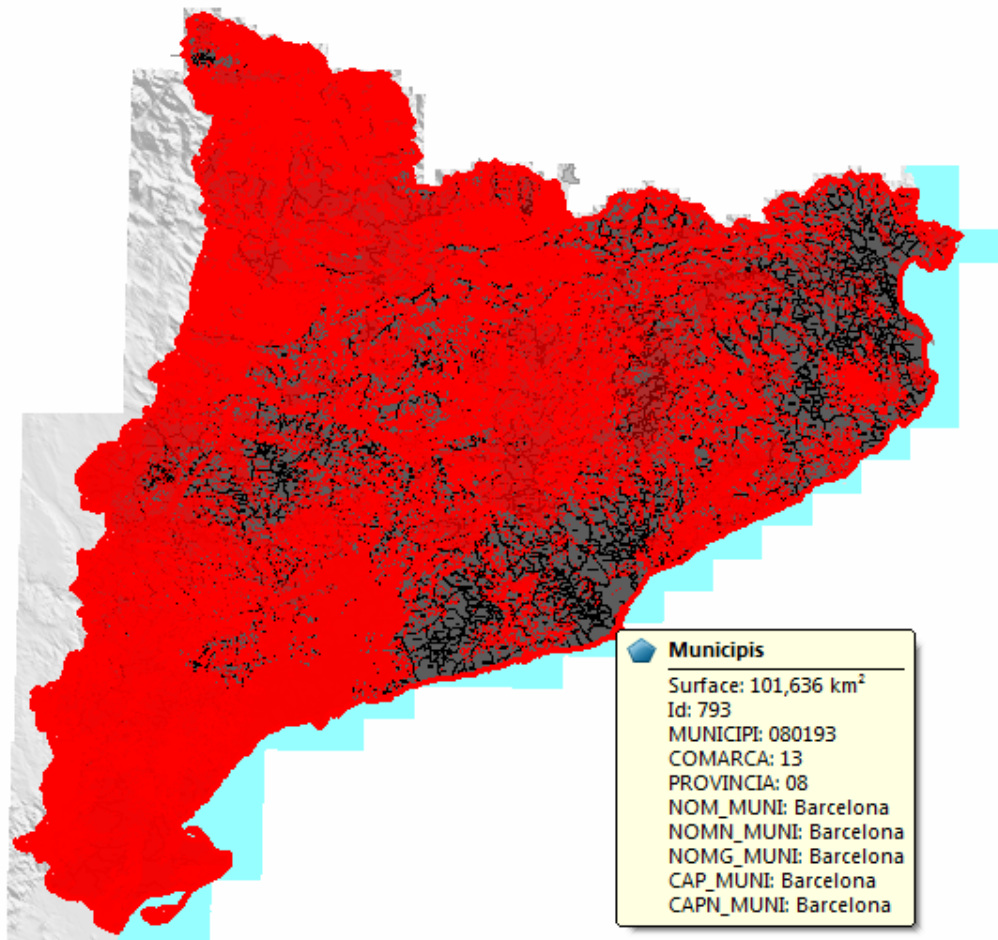


Figura 6.9: Visualització de totes les cobertures TVWS de 80 MHz (10 canals). Es pot veure informació sobre el municipi seleccionat (nom i superfície de Barcelona) i comprovar com aquest no disposa de cap TVWS lliure de 80 MHz.

Usant aquest senzill mètode de visualització dels mapes obtinguts (visualitzant alhora tots els TVWS d'un ample de banda determinat) és senzill trobar per unes coordenades determinades el TVWS més gran espectralment, com el número de TVWS disponibles per a cada ample de banda.

6.2 Visualització de les cobertures TVWS al programa Google Earth

Un dels objectius que es volia aconseguir en aquest projecte, a part de l'obtenció dels mapes TVWS de Catalunya, era aconseguir una mètode que permetés accedir a la informació trobada de forma fàcil, i a ser possible sense haver de disposar del projecte (fitxer .atl) i del programa Atoll.

Per complir aquest propòsit, es va utilitzar la opció que ens brinda el programa de planificació Atoll per tal d'exportar les cobertures per al programa Google Earth. Google Earth és un programa d'informació on es presenta un globus terraquí virtual

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

amb l'opció de visualitzar mapes i continguts i dades ubicades geogràficament, organitzades en capes personalitzables. Aquest programa posseeix l'avantatge de que és àmpliament conegut, fàcil d'utilitzar per al públic general i gratuït per la seva llicència bàsica.



Figura 6.10: Visualització de part del quadre d'eines del programa de planificació Atoll, amb la fletxa assenyalant l'accés directe a l'opció d'exportació de cobertures per a Google Earth.

Per tant, es va decidir exportar les cobertures TVWS per a Google Earth (Atoll genera un fitxer .kmz amb les cobertures seleccionades), agrupant-les segons el seu ample de banda. Pels TVWS d'1 sol canal (8 MHz, també s'han exportat les cobertures de la senyal de TDT).

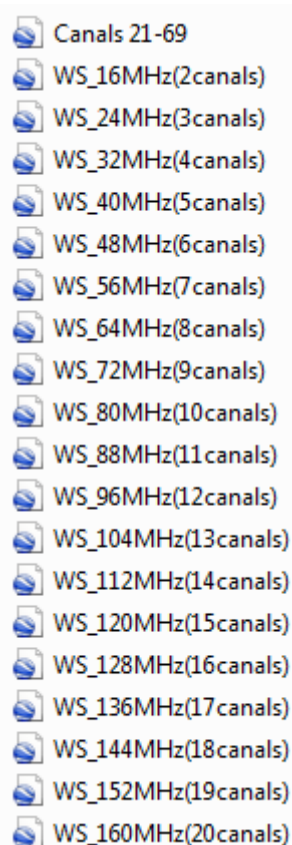


Figura 6.11: Visualització dels fitxers obtinguts amb l'exportació de les cobertures per a Google Earth.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

A continuació, es presenta la figura 6.12 on es pot visualitzar alhora al Google Earth les dues capes que representen la disponibilitat i la ocupació del canal 47 a Catalunya (en vermell la zona on hi ha emissió de senyal TDT i en verd el *White Space* per aquest canal).

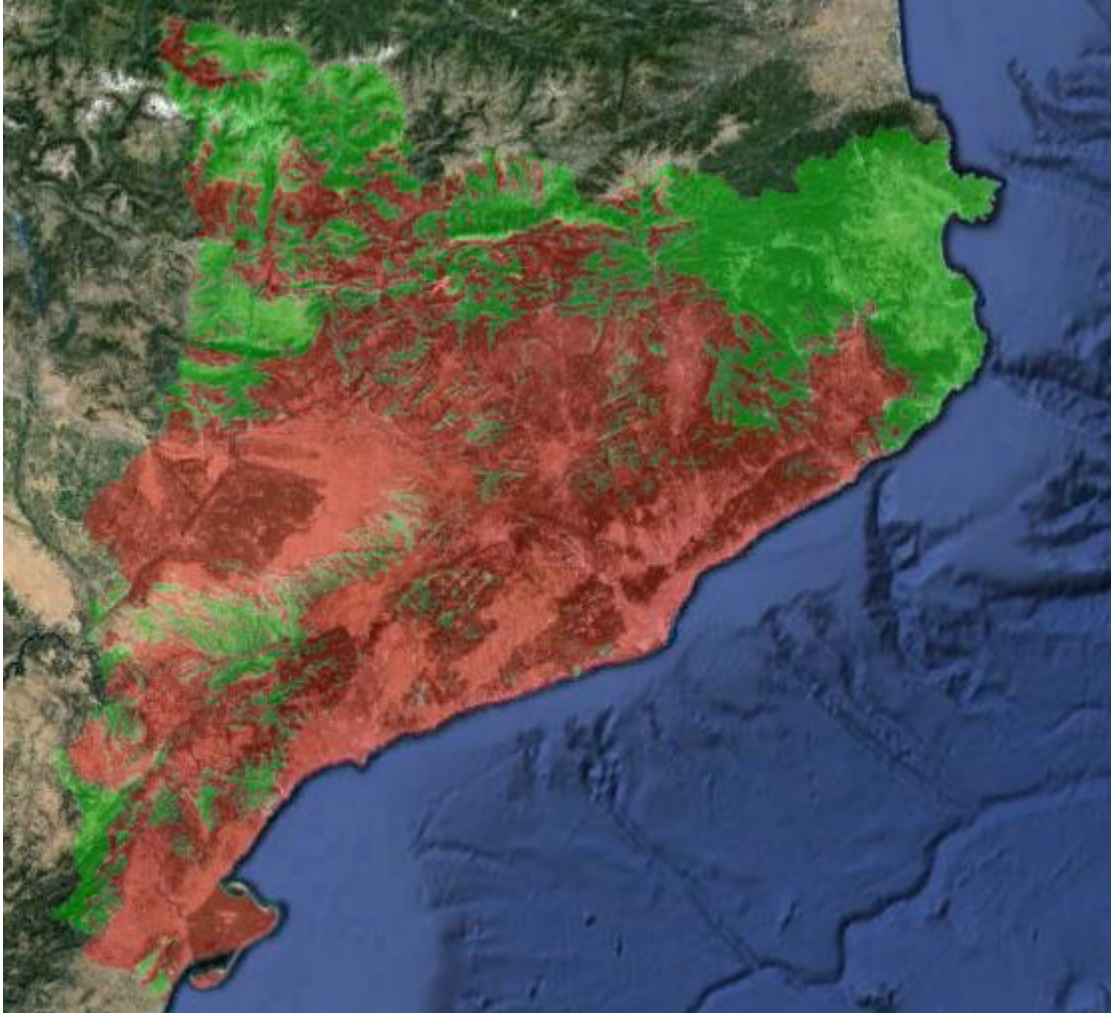


Figura 6.12: Visualització de l'ocupació del canal 47 (vermell) i del White Space corresponent a aquest canal (verd) en l'entorn de Google Earth.

A més a més també s'han exportat els fitxers *.kmz* dels transmissors i *sites*. Prement a sobre de cada *site* o emplaçament, s'obtenen les dades introduïdes al programa Atoll tal i com es pot comprovar a la figura 6.13. En aquesta imatge es poden veure diferents emplaçaments, i prement a sobre un d'ells, en aquest cas el centre d'emissió de Montblanc, es pot consultar el nom del *site*, les coordenades geogràfiques i l'altitud sobre el nivell del mar a la que està situat el *site*.



Figura 6.13: Visualització de *sites* o emplaçaments emissors. En el quadre de text, es pot veure informació sobre la seva localització geogràfica.

També es possible visualitzar el *site* des d'una vista panoràmica per observar millor el relleu geogràfic de la zona (figura 6.14) amb una recreació a escala de l'antena.

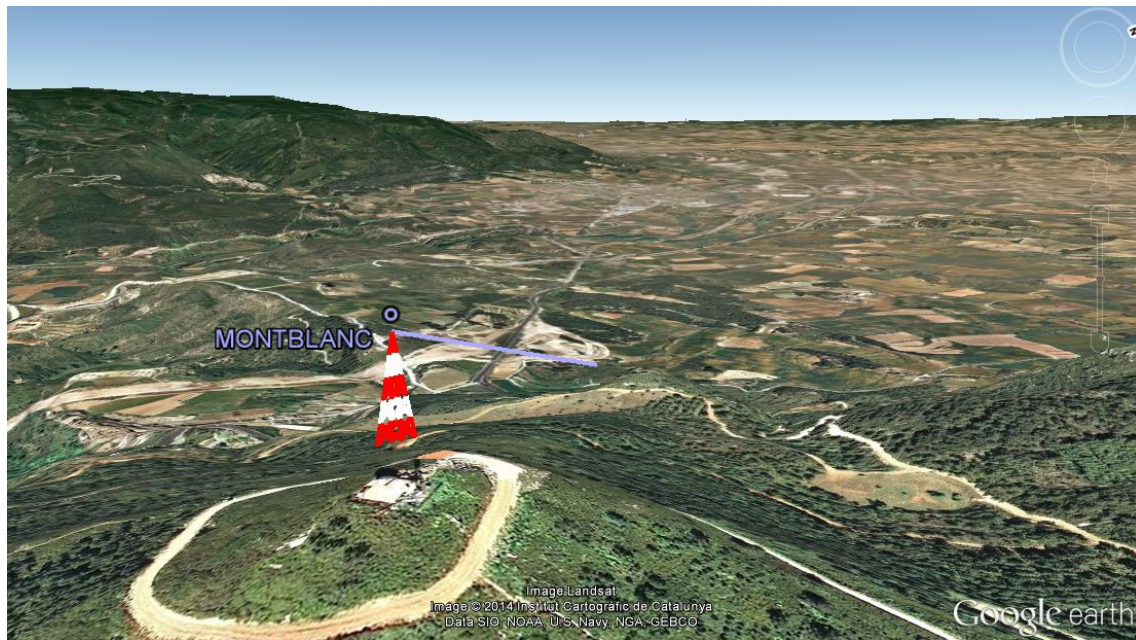


Figura 6.14: Visualització panoràmica des del *Site* de Montblanc, amb una recreació de l'antena emplaçada a aquest punt amb la seva alçada corresponent.

Amb aquesta visualització, també es poden activar les cobertures de TDT i les cobertures TVWS, per aconseguir una millor interpretació dels resultats i veure clarament visualitzades les zones d'ombra provocades pel relleu orogràfic (en verd), tal i com es pot observar en la figura 6.15, on es veu la ocupació del canal 47. A més a més es poden activar les opcions de cada transmissor que s'han introduït al projecte d'Atoll tal i com s'ha descrit en el capítol 4.

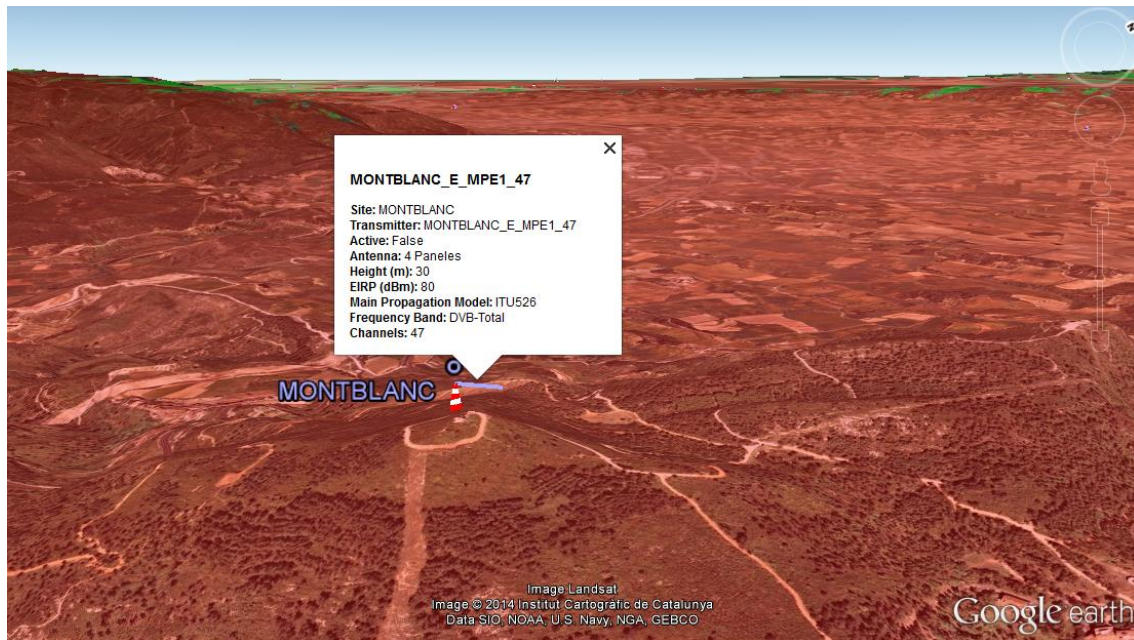


Figura 6.15: Visualització panoràmica de l'ocupació del canal 47. Es poden observar zones d'ombra (en verd) degudes al relleu. També es veu el quadre de text que ens dóna informació sobre el transmissor del canal 47 (antena, alçada, potència..)

En aquest cas es poden veure les propietats del transmissor del múltiple estatal MPE1 de l'emplaçament de Montblanc, que emet al canal 47 (amb el nom identificador MONTBLANC_E_MPE1_47). Aquí es pot observar per exemple, l'antena usada en la simulació i l'alçada d'aquesta, la potència emesa (EIRP) o el model de propagació i el canal utilitzat.

6.3 Visualització dels mapes TVWS i informació del projecte en un lloc web

Finalment i per tal de donar més visibilitat al mapa de TVWS creat, així com a la informació obtinguda referent a la ocupació espectral de la banda de freqüències de la televisió a Catalunya, s'ha dissenyat un lloc web per tal de fer el resultat d'aquest projecte més accessible.

L'adreça del lloc web és <http://whitespacescatalunya.blogspot.com.es/>.



Figura 6.16: Captura de la pàgina d'inici del lloc web creat per donar visibilitat al projecte.

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

En el lloc web creat, es dona informació sobre l'existència dels TV *White Spaces* a Catalunya, es llisten els canals ocupats actualment pels diferents múltiples locals, autonòmics i estatals i es dona informació sobre els resultats obtinguts pel que fa al possible aprofitament dels TVWS.

A més a més, es poden visualitzar de manera senzilla les cobertures TVWS de tots els canals, així com es mostren opcions de visualització fent servir un aplicatiu de Google Earth i s'ofereix l'opció de descarregar les cobertures TVWS en diferents formats per a la seva consulta.

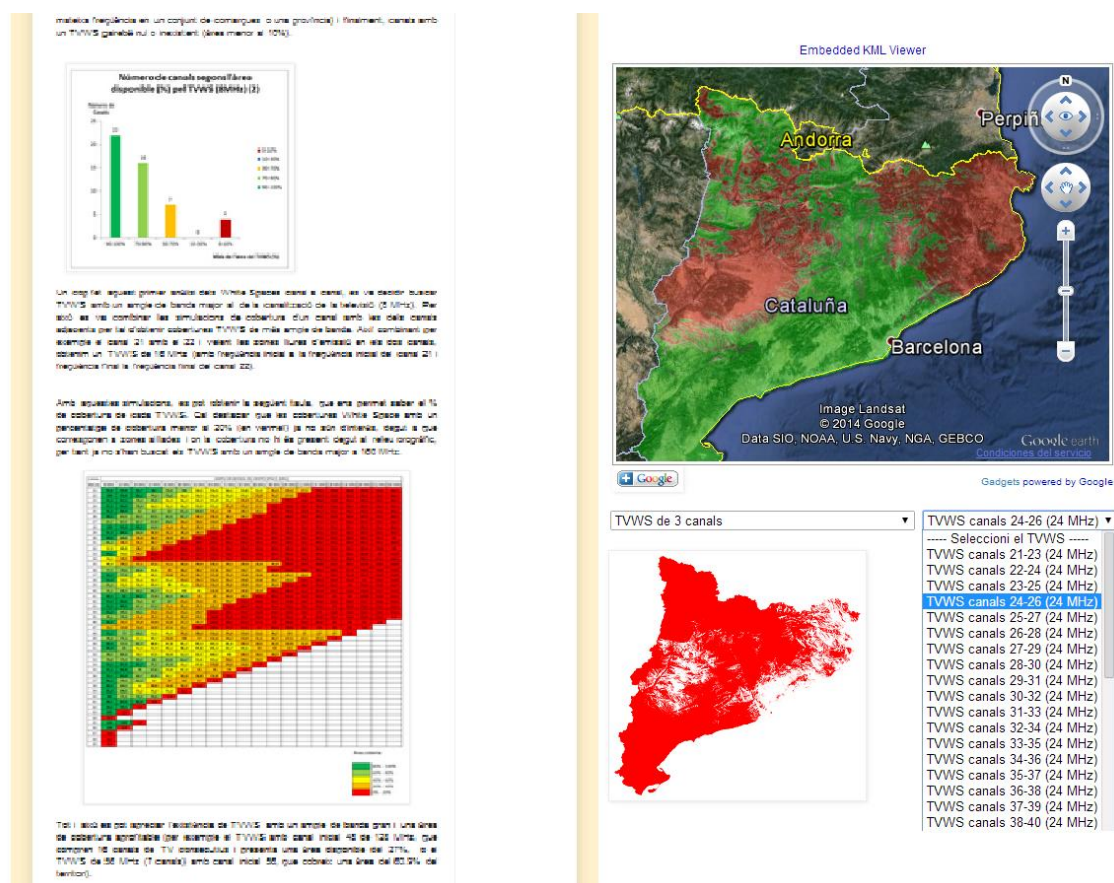


Figura 6.17: Captures de pantalla del lloc web dissenyat on es veu part de la informació exposada i diferents formes disponibles de visualitzar les cobertures TVWS.

7 Conclusions i línies futures

En aquest capítol, es resumeixen les idees més importants del projecte, resumint els resultats obtinguts i conclusions, i assenyalant les possibles actuacions que es podrien prendre, tan per l'aprofitament dels mapes de cobertura de TVWS obtinguts com les línies d'actuació que es podrien prendre per a futures recerques en aquesta temàtica.

7.1 Conclusions

L'escassetat d'espectre disponible per a nous serveis junt amb la poca ocupació que se'n fa en algunes àrees i bandes de freqüència han impulsat la idea de fer un ús secundari de l'espectre assignat que no s'està usant. Per fer realitzable aquesta idea cal, entre altres coses, buscar on hi ha espectre no usat, anomenat *White Space*. La banda de televisió és la primera candidata considerada per aquesta escomesa per dues raons: les transmissions són molt estables en aquesta banda i el pas de la tecnologia analògica a la digital ha reduït considerablement la necessitat d'ample de banda destinat a la televisió.

El principal resultat obtingut en aquest projecte, ha estat la confecció dels mapes de cobertures dels *White Spaces* en la banda de televisió a Catalunya. Aquests mapes dels TVWS es poden utilitzar tant com una estimació qualitativa de l'espai lliure espectral per a valorar l'interès d'introduir serveis secundaris, com per a la cerca en concret de *White Spaces* amb l'ample de banda requerit i per una localització o àrea donada.

En particular, per crear el mapa complet de TV *White Spaces* de Catalunya s'ha usat l'eina de planificació ràdio professional Atoll de l'empresa Forsk. Aquesta eina permet reproduir tot l'escenari a estudiar de manera molt realista usant informació geogràfica provinent d'un model d'elevació digital del terreny. Per tal de poder consultar tota la informació generada sense disposar d'aquesta eina de pagament s'han desenvolupat dues alternatives gratuïtes. Per una banda s'ha exportat tota la informació i les cobertures obtingudes per poder ser consultades pel programa Google Earth. I per altra banda, s'ha creat un lloc web on es pot consultar tota la informació.

A més del mapa de TVWS també s'ha aconseguit un retrat acurat del percentatge de l'extensió de cobertura *White Space* en superfície, obtenint així una anàlisi quantitativa de l'estat espectral de la banda de televisió com es pot observar en les gràfiques de les figures 5.3 i 5.9. Mitjançant aquest anàlisi, s'ha comprovat que les cobertures TVWS d'un canal (seguint la canalització de la TDT de 8 MHz per a cada canal) cobreixen en mitjana el 77,52% del territori.

També s'ha determinat un llindar raonable per valorar de forma més realista els *White Spaces* trobats. Així s'estableix que un TVWS amb una cobertura del territori inferior al

20%, correspon en realitat a les zones de més difícil cobertura degut al relleu orogràfic i aïllades entre elles (sense presentar zones contínues lliures de senyal) i és en general poc aprofitable per a serveis secundaris.

Seguint aquest criteri, el TVWS amb l'ample de banda més gran correspon al WS de 128 MHz dels canals 48-63 (16 canals) que es troba disponible en un 27 % del territori de Catalunya. També s'ha pogut comprovar com els canals 64, 67, 68 i 69 són els únics que cobreixen en la seva emissió la pràctica totalitat del territori, restant TVWS aprofitables en la resta dels canals de la banda de TDT. Tot i això, la futura reubicació d'aquests canals (degut a l'alliberament dels canals 61-69 segons el Pla Marc d'Actuacions per l'Alliberament del Dividend Digital 2012-2014) canviarà necessàriament la distribució futura dels *White Spaces*. Tot i així, modificant els canals utilitzats pels transmissors al projecte d'Atoll generat, pels dels nous canals emprats per substituir-los, serà possible obtenir un nou retrat actualitzat amb la mateixa metodologia sense necessitat de repetir tot el treball realitzat.

Donats els resultats obtinguts, es pot concloure que l'espai espectral dedicat actualment a l'emissió de la TDT (470-862 MHz) està visiblement infrautilitzat degut a l'herència analògica, en un temps on els requeriments d'ample de banda per l'emissió de la TV eren majors que els necessaris actualment. Aquesta situació es resoldrà parcialment amb l'execució del Pla Marc d'Actuacions per l'Alliberament del Dividend Digital 2012-2014, dedicant els 9 últims canals (61-69) a altres usos.

La redistribució de les emissions d'aquests canal situats en el Dividend Digital a altres canals buits de l'espectre de la TV, racionalitzarà sensiblement l'ús espectral en aquesta banda. Tot i així, les emissions de canals de la TDT seguiran sense cobrir la major part del territori en la majoria dels canals, i per tant les cobertures TVWS seguiran tenint un gran potencial per a ubicar-hi altres serveis.

Aquests nous serveis poden ser implantats mitjançant tècniques convencionals amb una freqüència i ample de banda fixats (restringits a una àrea determinada per no interferir en l'activitat de la explotació primària del canal), o bé utilitzant tècniques com les de ràdio cognitiva per usar l'espectre de forma dinàmica, adequant-se a les necessitats del servei ofert i sempre respectant les emissions primàries dels canals ocupats.

7.2 Línies Futures

Donat el present projecte, s'exposen a continuació un seguit de propostes per tal d'assenyalar possibles línies futures de recerca en aquest àmbit a fi de millorar i ampliar els resultats obtinguts:

- Creació d'una base de dades que permeti consultar els TVWS segons l'ample de banda, la localització o una àrea mínima de cobertura d'aquest.
- Comprovació i ajust dels TVWS obtinguts mitjançant l'ús de mesures de camp. El programa Atoll permet un ajustament dels valors simulats comparant-los amb valors reals mesurats, a fi d'obtenir una simulació més acurada.
- Aconseguir més dades d'interès a partir de les cobertures TVWS calculades. Com exemple, es proposa analitzar els TVWS restringint l'àrea de càlcul a territoris més petits (com per exemple comarques o províncies) per conèixer el % d'ocupació per a cada zona. També fóra possible comparar els mapes de cobertura TVWS amb mapes de densitat de població, a fi de conèixer la població que engloba cada TVWS trobat pensant ja en les futures aplicacions o serveis que es vulguin donar al *White Space*.
- Actualització del projecte incloent futurs nous centres emissors i recreant l'espectre destinat a l'emissió de la TDT després de la reordenació de canals deguda a l'alliberament del Dividend Digital. Per això és necessari actualitzar els canals assignats als actuals múltiples per adaptar-los als futurs canvis.

8 Bibliografia

[1] Jaap Van de Beek, Janne Riihijärvi, Petri Mähönen, “Intrinsic challenges (and opportunities) to deploy LTE in Europe’s TV white spaces”, Future Network and Mobile Summit 2012 Conference Proceedings.

[2] Hanna Bogucka, Marcin Parzy, Paulo Marques, Joseph W. Mwangoka, Tim Forde, “Secondary Spectrum Trading in TV White Spaces”, IEEE Communications Magazine, November 2012.

[3] Abdullah Masrub, Brunel University London research[en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.brunel.ac.uk/sed/ece/research/wncs/student-profiles/abdullah-masrub> .

[4] COGNitive radio systems for efficient sharing of TV white spaces in EUropean context (COGEU), [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.ict-cogeu.eu/>.

[5] Digital Video Broadcasting Project (DVB)), [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.dvb.org/news/worldwide>.

[6] Infraestructures de Telecomunicacions, Secretaria d’Estat de telecomunicacions i per la societat de la informació, Ministeri d’Indústria, Energia i Turisme, Gobierno d’Espanya, [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/infraestructuras/paginas/tdt_ict.aspx

[7] Boletín Oficial del Estado, “Real Decreto 944/2005 de 29 de julio por el que se aprueba el Plan técnico nacional de la televisión digital terrestre.”, [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.boe.es/boe/dias/2005/07/30/pdfs/A27006-27014.pdf>.

[8] Boletín Oficial del Estado, “Real Decreto 365/2010, de 26 de marzo, por el que se regula la asignación de los múltiples de la Televisión Digital Terrestre tras el cese de las emisiones de televisión terrestre con tecnología analógica.”, [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <https://www.boe.es/boe/dias/2010/04/03/pdfs/BOE-A-2010-5400.pdf>.

[9] Ministeri d’indústria, Turisme i Comerç, Gobierno de España, “Pla Marc d’Actuacions per l’Alliberament del Dividend Digital 2012-2014” , [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a

http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-es/novedades/documents/plan_marco_dividendo_digital.pdf.

[10] Europa Press, diari El Mundo “El TS anula el acuerdo del Gobierno para el reparto de los canales de la TDT”, Madrid 11/12/2012 , [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.elmundo.es/elmundo/2012/12/11/comunicacion/1355231491.html>.

[11] Europa Press, “Soria anuncia que llevará "pronto" a Consejo de Ministros el plan para liberar el dividendo digital”, Madrid 15/1/2014 , [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a

<http://www.europapress.es/economia/noticia-economia-soria-anuncia-llevara-pronto-consejo-ministros-plan-liberar-dividendo-digital-20140115135847.html>.

[12] Institut Geogràfic Nacional, Ministeri de Foment, Gobierno de España, [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.ign.es/>.

[13] Departament d'Empresa i Ocupació (àmbit d'actuació de Telecomunicacions i societat de a informació), Generalitat de Catalunya , [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a http://www10.gencat.net/gov_ctweb/AppJava/cercador.jsp .

[14] Juan Carlos León Gutiérrez, “Diseño e implementación de una metodología para representar *White Spaces* con una herramienta de planificación de radiofrecuencia”, PFC realitzat a l'ETSETB, Barcelona, març de 2012.

[15] M. Huidobro Manilla, “Identificación de white spaces en la Banda de Televisión para la Futura Implementación de Redes de Radio Cognitiva”, PFC realitzat a l'ETSETB, Barcelona, 2011.

[16] Abertis Telecom, [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.abertistelecom.com/es/emplazamientos.php>.

[17] Forsk, Atoll, Radio Planning & Optimisation Software. “User Manual Radio”, Blagnac – France 2011.

[18] ITU-R Recommendation, P.526-13 (11/2013). “Propagation by diffraction”, [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-13-201311-I!!PDF-E.pdf.

[19] Generalitat de Catalunya [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.gencat.cat/catalunya/cat/index.htm>.

[20] Boletín Oficial del Estado, “Real Decreto 401/2003, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones. ”, [en línia], [última consulta el 8/3/2014], disponible a <http://www.boe.es/boe/dias/2003/05/14/pdfs/A18459-18502.pdf>.

9 Annexos

9.1 Llistat dels emplaçaments (*sites*) utilitzats en el projecte d'Atoll

A continuació es llisten els noms dels 428 emplaçaments amb centres emissors o *sites* que s'han utilitzat pel càlcul de les cobertures TVWS (incloent els *sites* de prova a fi d'obtenir els TVWS correctament, tal i com es detalla en el capítol 4), amb les coordenades de longitud i latitud i l'alçada en metres sobre el nivell del mar del punt on es troben situats (Aquesta alçada no té en compte l'altura on està situat el transmissor. L'alçada de les antenes s'especifica al projecte, a les característiques del transmissor).

Taula 8.1: Llistat dels emplaçaments amb les seves coordenades i alçada.

Nom de l'emplaçament	Longitud	Latitud	Alçada (m)
ÀGER	0,7450836	41,980483	[958]
AIGUAFREDA	2,2374535	41,765166	[729]
AITONA	0,460019	41,473567	[120]
ALBANYÀ	2,7319489	42,300302	[469]
ALBI	0,940237	41,421174	[546]
ALCANAR	0,4846899	40,544968	[97]
ALCANAR-MONTSIA	0,546741	40,5764	[14]
ALELLA	2,3008184	41,502694	[240]
ALELLA-EL MAS COLL	2,274348	41,501888	[307]
ALFARA DE CARLES	0,4037573	40,870092	[355]
ALINS	1,3177135	42,538218	[1373]
ALMACELLES	0,4492626	41,734393	[306]
ALMENAR	0,569367	41,78598	[384]
ALMOSTER	1,1144838	41,191548	[231]
ALÒS DE BALAGUER	0,953291	41,91604	[473]
ALPICAT	0,5284803	41,662999	[335]
ALT ÀNEU	1,0740745	42,645701	[1637]
AMER	2,5908746	42,011078	[341]
ARANSA	1,6569231	42,40937	[1557]
ARBECA	0,920762	41,535351	[341]
ARBOLÍ	0,950811	41,240533	[731]
ARBÚCIES	2,5682162	41,805334	[620]
ARCAVELL	1,470863	42,424492	[1233]
ARENY NOGUERA	0,6965021	42,262278	[1113]
ARENYS DE MAR-CEMENTIRI	2,546675	41,577074	[44]
ARENYS DE MUNT-CAN JALPÍ	2,538941	41,584532	[94]
ARENYS MUNT	2,5302771	41,63106	[416]
ARENYS MUNT II	2,527817	41,590841	[200]
ÀREU	1,3364082	42,581241	[1560]
ARGENÇOLA II	1,476534	41,632599	[569]
ARGENTONA	2,4204851	41,573445	[383]
ARNES	0,2598923	40,904276	[522]
ARSÈGUEL	1,5882171	42,352744	[1100]

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

ARSÈGUEL-CAVA	1,581647	42,330077	[1399]
ARTESA DE SEGRE	1,0549508	41,891912	[472]
ARTESA DE SEGRE-COLLDEL RAT	1,094487	41,902354	[528]
AUBAGA NEGRA	1,1860635	42,193758	[1692]
AVELLANES I SANTA LINYA-SANTA LINYA II	0,760176	41,910908	[592]
AVELLANES I SANTA LINYA-TARTAREU	0,714309	41,915652	[585]
AVINYÓ	1,9669671	41,866766	[425]
BAGÀ	1,8596452	42,259275	[930]
BAGERGUE	0,9147194	42,70877	[1559]
BAIX LLOBREGAT-AMPLIACIÓ	1,9838195	41,344386	[360]
BALSARENY	1,8986507	41,865852	[485]
BALTASANA	1,004294	41,326002	[1199]
BATEA	0,3159059	41,08959	[393]
BAUSEN	0,7226226	42,833892	[932]
BEGUES	1,9005015	41,320012	[557]
BEGUES II	1,8847407	41,346027	[655]
BEGUR - II	3,214868	41,96243	[205]
BEGUR-SA TUNA	3,228244	41,956903	[166]
BELLMUNT OSONA	2,2923638	42,101295	[1219]
BENIFALLET	0,5194576	40,974544	[56]
BESCARAN	1,5459841	42,394012	[1471]
BIGUES	2,195604	41,685691	[446]
BIOSCA	1,355818	41,843151	[523]
BISBAL DE FALSET	0,724621	41,270464	[490]
BISBAL PENEDES II	1,4741742	41,295431	[355]
BLANCAFORT	1,163317	41,434112	[466]
BLANES	2,7978647	41,678985	[157]
BLANES-DIPÒSITS	2,783966	41,67126	[48]
BOIXADORS	1,6490853	41,747938	[676]
BOIXOLS	1,1450514	42,173613	[1314]
BONASTRE	1,437493	41,209964	[204]
BONESTARRE	1,2164239	42,577074	[1095]
BOSSÒST	0,6740196	42,757983	[1518]
BOVERA	0,637625	41,329598	[328]
BRÀFIM EB	1,3501	41,288685	[267]
BUSA VALL D'ORA	1,6441062	42,076212	[1202]
CABACÉS	0,721492	41,239665	[360]
CABRA CAMP	1,2769826	41,412721	[621]
CABRILS II-AMPLIACIÓ	2,3625303	41,522896	[205]
CABRILS-MATARÓ	2,3840199	41,525472	[311]
CADAQUÈS	3,2489906	42,30108	[430]
CALAF	1,5047029	41,725595	[760]
CALAFELL-BELLAMAR	1,581892	41,195445	[77]
CALAFELL-MAS ROMEU	1,598154	41,209149	[170]
CALAF-SANT MARTÍ SESGUEIOLES	1,538243	41,731141	[708]
CALDES D'ESTRAC-AMPLIACIÓ	2,5220559	41,573704	[107]
CALELLA	2,6498257	41,640511	[402]
CALONGE	3,0392216	41,829644	[321]
CALONGE-VESCOMTAT DE CABANYES	3,076671	41,863051	[55]
CAMARASA	0,863734	41,857896	[452]

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

CAMPDEVÀNOL	2,173789	42,222754	[818]
CAMPRODON	2,3713453	42,30591	[1305]
CAMPRODON II	2,4133863	42,322874	[1126]
CAN PARELLADA	2,0498374	41,532187	[306]
CAN ROS	1,9340821	41,576488	[636]
CANET-AMPLIACIÓ	2,5761234	41,592949	[84]
CANYELLES	1,737202	41,285136	[200]
CAP VAQUÈIRA	0,9742037	42,692415	[2462]
CAPAFONTS	1,0133783	41,289312	[976]
CAPELLADES	1,7020586	41,536326	[584]
CARDONA	1,686989	41,937391	[672]
CASERES	0,240436	41,037347	[351]
CASTELL DE L'ARENY	1,9313483	42,162042	[1026]
CASTELLAR DEL VALLÈS II	2,057367	41,624153	[516]
CASTELLÀS	1,233648	42,342818	[1550]
CASTELLBÒ	1,355053	42,377759	[950]
CASTELLDANS	0,761954	41,498559	[387]
CASTELLDEFELS	1,9487997	41,271381	[69]
CASTELLFOLLIT RIUBREGÓS	1,4398292	41,772755	[599]
CASTELLNOU DE BAGES	1,820141	41,814781	[490]
CATLLAR MAS PANXER PARCELA11	1,2882711	41,147418	[165]
CENTRAL CABDELLA	0,994214	42,467671	[1376]
CERCS	1,853665	42,182193	[1012]
CERDANYA III	1,9056099	42,331294	[2312]
CERVERA	1,267771	41,651514	[543]
CERVERA/EIX	1,294153	41,681124	[590]
CERVIÀ	0,8543287	41,431156	[526]
CLAVEROL	0,9856835	42,245012	[756]
COLL NARGÓ II	1,3252183	42,170831	[525]
COLL REDO	0,5679693	40,80701	[375]
COLLADA PUBILL	1,3243893	42,384843	[1325]
COLLDEJOU	0,890084	41,099378	[444]
COLLSEROLA	2,1142516	41,4172	[445]
COLLSUSPINA	2,1985079	41,819555	[1015]
COMA	1,5687524	42,202184	[1542]
COMA I LA PEDRA II	1,608202	42,16595	[1125]
COMIOLS	1,1001201	42,072045	[1239]
COPONS	1,517258	41,634052	[421]
CORBERA	1,915702	41,432148	[530]
CORNUDELLA DE MONTSANT	0,911285	41,260304	[568]
CREIXELL	1,431828	41,172998	[80]
CUBELLES-AMPLIACIÓ	1,6547	41,231215	[127]
CUBELLS	0,9524273	41,851013	[494]
CUNIT	1,621589	41,223635	[187]
DOSRIUS	2,4263993	41,58422	[402]
EL SOLERÀS	0,682234	41,418654	[423]
ELS ÀNGELS	2,9099108	41,982921	[470]
ELS LÍMITS	2,864258	42,463815	[288]
ERINYÀ	0,9686254	42,257615	[707]
ERMITA DE LA FATARELLA	0,4737171	41,169052	[522]

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

ES BORDES	0,731676	42,732305	[1125]
ESCALÓ	1,1859684	42,532676	[1122]
ESCART	1,132009	42,538495	[1351]
ESCORNALBOU	0,9149426	41,127016	[639]
ESPINAVELL	2,4062625	42,371939	[1380]
ESPINELVES	2,41321	41,862914	[859]
ESPLUGA CALVA	1,003353	41,501425	[503]
ESPOT	1,0990969	42,564586	[1497]
ESTARTIT	3,1907785	42,055471	[219]
ESTERRI CARDÓS	1,2373564	42,589664	[963]
FALSET	0,838481	41,143627	[623]
FARGA BEBIÉ	2,2025059	42,133229	[765]
FARGA MOLES	1,4496294	42,419532	[1200]
FEBRÓ	1,007638	41,284871	[971]
FIGARÓ	2,2742671	41,727719	[394]
FÍGOLS I ALINYÀ	1,402152	42,165706	[1273]
FIGUERASSA	1,8231924	42,121914	[1493]
FIGUERES	2,951643	42,272243	[87]
FLIX I	0,5679847	41,215193	[111]
FLIX II	0,5472931	41,23011	[91]
FONOLLOSA	1,746338	41,759617	[409]
FONT DEL TEIXÓ	1,543112	42,125552	[1280]
FORALLAC	3,114321	41,94145	[173]
FORNELLS	3,21637	41,947399	[263]
FREGINALS	0,519869	40,678342	[154]
FULLEDA II	1,023283	41,465016	[602]
GALLIFA	2,1121559	41,688292	[616]
GANDESA	0,4355888	41,029781	[617]
GARCIA	0,648517	41,134401	[29]
GARRAF	1,910297	41,260529	[226]
GARRIGA	2,292948	41,690786	[346]
GELIDA	1,8325841	41,456733	[224]
GERRI SAL	1,0755867	42,316604	[947]
GIRONA	2,835311	41,976914	[178]
GODALL	0,4712394	40,658799	[227]
GOMBRÈN	2,0926703	42,249674	[956]
GÓSOL	1,6496455	42,234993	[1809]
GRÉIXER	1,8235532	42,414309	[1376]
GUARDIOLA	1,8568347	42,230941	[1354]
GUIMERÀ	1,18621	41,558354	[599]
GUIXERS	1,6712499	42,133368	[857]
HORTA DE SANT JOAN	0,305727	40,95134	[515]
IGUALADA	1,5781906	41,553812	[627]
JUNCOSA	0,767797	41,383258	[611]
LA JONQUERA	2,8690888	42,417637	[166]
LA NOU DE BERGUEDÀ	1,885805	42,167709	[912]
LA RIBA II	1,174079	41,31551	[354]
LA SENIA	0,2885472	40,642759	[426]
LA TORRE DE FONTAUBELLA	0,873994	41,116162	[552]
LES PILES	1,345942	41,499646	[693]

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

L'ESTANY	2,1174835	41,870651	[922]
LLACUNA	1,515969	41,447841	[937]
LLACUNA-ROFES	1,565345	41,497547	[575]
LLADORRE	1,237934	42,619698	[1323]
LLADORRE-VALL TAVASCAN	1,225325	42,678975	[1670]
LLAGOSTERA	2,9387858	41,765793	[495]
LLAVANERES	2,4866728	41,573453	[162]
LLAVORSÍ	1,2094494	42,495394	[857]
LLAVORSÍ-MONTENARTRÓ	1,218594	42,446863	[1582]
LLERS	2,921597	42,289715	[198]
LLIÇA DE MUNT	2,230625	41,607693	[209]
LLIMIANA	0,9369564	42,072196	[957]
LLORAC	1,306275	41,559227	[684]
LLORET	2,8555855	41,715397	[271]
LLOSES	2,1056008	42,156264	[1147]
MAÇANET CABRENYS	2,7305559	42,422322	[1440]
MAÇANET DE LA SELVA	2,699052	41,784715	[143]
MADREMANYA-MILLARS	2,96621	41,99321	[167]
MALDÀ-LLORENÇ DE ROCAFORT	1,042387	41,549986	[441]
MALGRAT DE MAR	2,7252639	41,652804	[184]
MALLOL-VALL D'EN BAS	2,4339062	42,157524	[575]
MARE DE DÉU DEL MONT	2,707406	42,258264	[1112]
MARGALEF	0,7510935	41,287836	[506]
MARMELLAR	1,5384928	41,345014	[644]
MARTINET	1,705711	42,35577	[1166]
MARTORELL II	1,9345452	41,471504	[184]
MASBOQUERA	0,860495	41,020136	[234]
MASLLORENÇ-AMPLIACIÓ	1,433412	41,282833	[385]
MASSALCOREIG	0,351714	41,415911	[133]
MASSANES-SANT ROC III	2,66712	41,76852	[111]
MATADEPERA	2,0232068	41,592429	[404]
MEDIONA	1,614288	41,479631	[481]
MIERES	2,653241	42,134266	[322]
MOIÀ	2,083995	41,8015	[786]
MOIÀ-MONTVÍ DE BAIX	2,095748	41,832864	[848]
MOLINA	1,9605589	42,347413	[1486]
MOLINS DE REI-AMPLIACIÓ	1,9868319	41,418373	[266]
MONISTROL CALDERS	2,0222762	41,750954	[653]
MONTAGUT	2,571985	42,230964	[603]
MONTAGUT I OIX	2,558288	42,216441	[328]
MONTAGUT-QUEROL	1,4204903	41,404694	[861]
MONTBLANC	1,2246052	41,34882	[778]
MONTCADA	2,2041329	41,488384	[238]
MONTCARO	0,344239	40,803603	[1428]
MONTCAUBÓ	1,1793349	42,598364	[2291]
MONTFERRER I CASTELLBÒ-CASSOVALL	1,291959	42,345586	[1629]
MONTGAI-BUTSÈNIT	0,961217	41,795944	[301]
MONTOLIU DE SEGARRA	1,292236	41,590131	[782]
MONTORNÈS	2,2572842	41,540847	[210]
MONT-RAL	1,1043224	41,284128	[764]

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

MONTSENY	2,3497333	41,764045	[1315]
MONTSERRAT	1,815799	41,604621	[1200]
MÓRA LA NOVA	0,6738451	41,104997	[137]
MUNTS	2,1519505	42,07799	[1047]
MUR	0,8588207	42,104236	[883]
MURA	1,9745252	41,70562	[614]
MUSSARA	1,0562114	41,248737	[1011]
MÚTUA DE TERRASSA	2,0168256	41,563813	[292]
NÚRIA	2,1597187	42,391986	[2121]
OGASSA TOSSAL	2,2800809	42,2697	[1150]
OGERN	1,338038	42,024345	[522]
OIX BACH CLOSA	2,5309786	42,266604	[522]
OLÈRDOLA-DALTMAR	1,696185	41,285737	[394]
OLIANA II	1,31453	42,052064	[646]
OLIOLA	1,171923	41,875846	[464]
OLIVELLA	1,7692385	41,299137	[273]
OLOST	2,0899599	41,982812	[623]
OLOT	2,4000302	42,131359	[1321]
OLOT II	2,4784313	42,179107	[542]
OLOT III	2,5017245	42,185785	[471]
OMELLS NA GAIA II	1,079578	41,498337	[597]
ORCAU	0,9462755	42,17521	[903]
ORGANYÀ	1,3106044	42,244078	[1655]
ORÍS	2,2302823	42,058566	[646]
ORISTÀ	2,0532055	41,930421	[513]
ÒRRIUS	2,3384322	41,553043	[526]
OS CIVÍS	1,4487028	42,514745	[1809]
OS DE BALAGUER	0,7337366	41,872178	[579]
OSOR	2,5236677	41,957508	[831]
OSSÓ DE SIÓ	1,132944	41,761814	[383]
PALAFRUGELL	3,2017444	41,896835	[156]
PALLEROLS	1,357785	41,620133	[636]
PALMA	1,9664105	41,416561	[211]
PALMA D'EBRE	0,665996	41,287072	[364]
PASSANANT	1,201724	41,527106	[754]
PAÜLS	0,3925441	40,918152	[466]
PERELLÓ	0,7256508	40,873098	[242]
PIC ORRI	1,2150477	42,408434	[2437]
PINELL DE BRAI	0,5135582	41,015156	[194]
PINÓS	1,5451386	41,840463	[928]
PINÓS-VALLMANYA	1,622542	41,847404	[591]
POBLA CLARAMUNT	1,6774324	41,562977	[347]
POBLA DE LILLET, LA	1,9783312	42,241643	[913]
POBLA DE SEGUR	0,9585106	42,235191	[619]
PONT ARMENTERA	1,3592618	41,3814	[404]
PONT BAR	1,6550464	42,373181	[1353]
PONT DE SUERT	0,7734029	42,375154	[1681]
PONT MOLINS	2,9160809	42,314345	[61]
PONTONS-BARRI-RECTORIA	1,517569	41,418663	[627]
PONTS	1,1507299	41,901909	[630]

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

PORRERA	0,856044	41,185351	[357]
PORTBOU	3,1615042	42,418352	[220]
PRADELL	0,9054743	41,166268	[760]
PRAT DEL COMPTE	0,400186	40,986796	[470]
PRATDIP	0,867619	41,04111	[451]
PRATS DE REI	1,538997	41,684163	[636]
PRATS LLUÇANÈS II	2,0234844	42,007241	[715]
PREIXENS	1,017004	41,800932	[330]
PREMIÀ DE DALT	2,343076	41,501334	[142]
PRIORAT	0,7391479	41,211124	[632]
PRULLANS	1,7159801	42,385758	[1329]
PUIG REIG	1,9008691	41,989498	[669]
PUIGDEVALL	0,6523265	41,595308	[198]
PUJAL	1,5936649	41,204249	[164]
PUNTA CURULL	0,954785	41,352197	[1025]
QUERALBS	2,174661	42,346135	[1367]
QUERFORADAT	1,63465	42,322966	[1428]
RAJADELL	1,713499	41,731047	[408]
RASQUERA	0,599074	41,000968	[199]
REFUGI DE L'ARP	1,526456	42,214635	[1930]
RIALP	1,1236071	42,435996	[1014]
RIBA-ROJA - ALMATRET	0,4333787	41,298421	[479]
RIBERA D'URGELLET	1,386805	42,241108	[1262]
RIBES FRESER-AMPLIACIÓ	2,1590113	42,302857	[1267]
RIPOLL I	2,1727274	42,191865	[1090]
RIPOLL II	2,1998846	42,194417	[713]
RIUDECOLS	0,828081401	41,163611	[390]
ROCACORBA	2,6865071	42,070948	[970]
RODA DE BARÀ	1,4542671	41,194021	[165]
ROQUETES	0,4991284	40,82508	[37]
RUBIÓ	1,548347	41,632055	[544]
SABADELL-CORTE INGLÉS	2,098884	41,55458	[196]
SALDES	1,7736622	42,231145	[1325]
SALLEN	1,901053	41,82122	[381]
SANAÜJA	1,314753	41,875259	[496]
SANELA	0,8208119	42,710764	[1816]
SANT AGUSTÍ LLUÇANÈS	2,137902	42,095603	[906]
SANT CARLES RAPITA	0,585548	40,622286	[91]
SANT CEBRIÀ DE VALLALTA-CAN PALAU	2,618053	41,615966	[188]
SANT CELONI-AMPLIACIÓ	2,4662984	41,754908	[1222]
SANT CELONI-CANADÀ PARK	2,4626951	41,642952	[453]
SANT FELIU DE CODINES	2,148776	41,685216	[593]
SANT FELIU GUÍXOLS	2,9983015	41,775186	[314]
SANT FOST CAMPCENTELLES	2,2301128	41,520006	[168]
SANT HILARI SACALM	2,4772707	41,883614	[1064]
SANT ISCLE DE VALLALTA-SANT ISCLE	2,560705	41,630677	[228]
SANT JOAN ABADESSES	2,2835518	42,239425	[832]
SANT JOAN FUMAT	1,420475	42,430355	[1033]
SANT JOAN LES FONTS-BEGUDÀ	2,535769	42,19999	[404]
SANT JULIÀ DE RAMIS	2,852253	42,028705	[177]

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

SANT JULIÀ DEL LLOR I BONMATÍ	2,647382	41,969146	[293]
SANT LLOP VIABREA	2,5402963	41,743393	[231]
SANT LLORENÇ DE LA MUGA	2,78565	42,316688	[244]
SANT LLORENÇ MORUNYS	1,5671137	42,151369	[1607]
SANT LLORENÇ SAVALL	2,054328	41,687102	[530]
SANT MARTÍ LLÉMENA	2,6992711	42,014673	[347]
SANT MATEU DE BAGES	1,638875	41,842649	[533]
SANT PAU	1,675377	41,356644	[282]
SANT PERE DE RIBES CT	1,770444	41,259115	[42]
SANT PERE DE RIBES-AMPLIACIÓ	1,7399484	41,268861	[356]
SANT PERE DE RIBES-CAN LLOSES	1,794865	41,280327	[234]
SANT PERE RIBES-EL MAS ALBA	1,809252	41,253921	[170]
SANT PERE SALLAVINERA	1,561761	41,738321	[708]
SANT QUIRZE DE BESORA	2,2225963	42,102141	[631]
SANT QUIRZE SAFAJA	2,1556547	41,723189	[723]
SANT QUIRZE SAFAJA-LES CLOTES	2,173898	41,729035	[738]
SANT SADURNÍ	1,8074196	41,407502	[378]
SANT SADURNÍ D'OSORMORT	2,377555	41,907087	[605]
SANT SALVADOR II	1,7663898	41,673464	[356]
SANT VICENÇ DE CASTELLET	1,8719232	41,67499	[344]
SANTA CECÍLIA VOLTREGÀ	2,22014	42,000303	[592]
SANTA COLOMA QUERALT	1,3667912	41,526232	[712]
SANTA EULÀLIA DE RIUPRIMER	2,187474	41,916111	[702]
SANTA FE PENEDÈS	1,725074	41,380796	[259]
SANTA MARIA DE MARTORELLES	2,249218	41,518496	[205]
SANTA MARIA D'OLÓ	2,03821	41,882606	[605]
SANTA PAU	2,639521	42,154456	[453]
SANTA SUSANNA	2,7137905	41,642868	[155]
SANTES CREUS DE BORDELL	1,31321	41,950175	[776]
SARRIÀ DE TER	2,830895	42,017958	[89]
SENET	0,7403431	42,550982	[1426]
SENERADA	0,9235396	42,326303	[1073]
SETCASES	2,283558	42,346013	[1529]
SISQUER	1,6909781	42,140142	[1252]
site1 ws	1,2	42,2	[1549]
site2 ws	0,8	41	[491]
site3 ws	2,5	41,9	[758]
SITGES-VALLPINEDA II	1,833324	41,249063	[204]
SOLSONA	1,4810074	41,979665	[914]
SORIGUERA-RUBIÓ	1,215179	42,373862	[1639]
SÚRIA	1,7449484	41,832103	[400]
TAGA	2,1831249	42,284487	[1420]
TAGAMANENT	2,2700745	41,739095	[442]
TALADELL	1,1750005	41,645018	[448]
TAMARIU	3,2030941	41,915639	[139]
TARRAGONA	1,2618677	41,118414	[66]
TAÜLL	0,8463235	42,522473	[1555]
TAÚS	1,1953934	42,261675	[1669]
TAVASCAN	1,249209	42,638186	[1232]
TAVÈRNOLES	2,3677069	41,936671	[858]

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

TEIÀ	2,3119393	41,501383	[215]
TERRADES	2,84297	42,309473	[234]
TIANA	2,2671365	41,492153	[247]
TÍRVIA	1,244932	42,495917	[1474]
TIVENYS	0,5034901	40,902196	[70]
TIVISSA	0,735625	41,033082	[590]
TORÀ	1,4000779	41,818223	[582]
TORDERA-ÀGORA PARC	2,658687	41,705015	[187]
TORDERA-ROCA ROSSA	2,643642	41,700306	[415]
TORMS	0,729057	41,400637	[554]
TORNAFORT	1,135512	42,375556	[1265]
TORRE CAPDELLA	0,971632	42,387944	[1224]
TORRE ESPANYOL	0,6046923	41,199023	[202]
TORROELLA MONTGRÍ	3,167263	42,047262	[3]
TOSES	2,054539	42,3207	[1470]
TOSES-NEVÀ	2,081079	42,31899	[1261]
TOSSA DE MAR-STA M DE LLORELL	2,902214	41,719808	[170]
TOSSA MAR II	2,9371487	41,729296	[155]
TOST	1,375508	42,280916	[820]
TREMP-ESPLUGA SERRA,TORRE DE TAMÚRCIA	0,828245	42,276724	[1201]
TRINXERA	1,4514709	42,018024	[874]
ULLDECONA	0,430844	40,616029	[373]
ULLDEMOLINS	0,8530164	41,329967	[799]
UNARRE	1,1251525	42,580946	[1377]
VALL BIANYA	2,4466955	42,198457	[776]
VALL BOÍ	0,7950235	42,483646	[1824]
VALL D'EN BAS	2,4341858	42,116555	[525]
VALLCLARA-LES FORQUES	0,988104	41,379918	[657]
VALLFOGONA DE RIUCORB	1,245958	41,564877	[644]
VALLIRANA	1,9299634	41,379307	[315]
VALLIRANA-LLEDONER	1,877497	41,388914	[502]
VALLROMANES	2,2762444	41,530627	[313]
VALLS VALIRA	1,440624	42,463627	[2047]
VANDELLÒS	0,8307016	41,008201	[633]
VENDRELL	1,5116015	41,196669	[125]
VESPELLA GAIÀ	1,3593743	41,206723	[212]
VIELHA	0,7955907	42,696782	[1112]
VILADRAU	2,3795736	41,854684	[915]
VILADRAU-GUILLERIES	2,335419	41,878906	[696]
VILALBA DELS ARCS	0,408771	41,124304	[445]
VILALLER	0,6905154	42,460772	[1366]
VILANOVA BANAT	1,5459382	42,337536	[1353]
VILANOVA MEIÀ	1,0376903	41,997729	[994]
VIMBODÍ	1,0691207	41,404282	[465]
XERALLO	0,8621043	42,362545	[1226]

9.2 Procediment i càlcul per calcular l'altura mitjana dels transmissors

En el moment de la recollida d'informació prèvia al projecte, només es va poder disposar de l'alçada exacta de 273 dels 426 emplaçaments, els de propietat d' Abertis llistats en la seva pàgina web [16]. Aquest llistat no contenia informació actualitzada de tots els centres emissors de Catalunya ja que va ser fet abans de l'ampliació de la xarxa de centres emissors per garantir la cobertura de la TDT a tot el territori.

Tot i això es va verificar que la majoria de centres emissors emplaçats en aquest període d'ampliació de la xarxa, eren en general d'alçada menor als col·locats anteriorment.

Així, es va decidir utilitzar les dades reals de les altures dels transmissors disponibles per trobar una altura mitjana de les antenes transmissores, a fi d'assignar aquest valor als centres emissors dels que no es coneixia l'altura real. Per obtenir un valor més realista, es va excloure del càlcul de la mitjana els valors de les antenes més altes de cada àrea geogràfica (Lleida-Pirineus, Lleida-Plana, Camp de Tarragona, Ebre, Barcelona i Girona). Aquestes es remarquen en negreta en la següent taula.

El càlcul resultant d'aquesta mitjana dona un valor de 22.85 metres, que s'ha arrodonit a l'alça utilitzant el valor final de **23 metres** en els centres emissors dels que es desconeixia l'alçada.

Taula 8.2: Llistat de les alçades reals dels emplaçaments d'Abertis[15].

Emplaçament	Alçada de l'antena (m)
ÀGER	14
AIGUAFREDA	8,6
ALBANYÀ	31,25
ALBI	8
ALCANAR	30
ALELLA	15
ALFARA DE CARLES rtv	17
ALINS	16,25
ALMACELLES	28
ALMENAR rtv	26
ALMOSTER	22,64
ALPICAT	80,8
ALT ÀNEU	10,63
AMER	16,85
ARANSA	11
ARBÚCIES	21,5
ARENY NOGUERA	13,32
ARENYS MUNT	32,6
ÀREU	9,17

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

ARGENTONA	17
ARNES	30
ARSÈGUEL	30
ARTESA DE SEGRE	9,5
AUBAGA NEGRA	27
AVINYÓ	15
BAGÀ	15
BAGERGUE	20,5
BAIX LLOBREGAT-AMPLIACIÓ	30
BALSARENY	30
BALTASANA	6
BATEA	15
BAUSEN	11,3
BEGUES	35
BEGUES II	25
BELLMUNT OSONA	30
BENIFALLET	15
BESCARAN	11,55
BIGUES	15
BISBAL PENEDES	30
BLANES	20
BOIXADORS	35
BOIXOLS	12,5
BONESTARRE	17
BOSSÒST	25
BUSA VALL D'ORA	20
CABRA CAMP	12,6
CABRILS II-AMPLIACIÓ	31,25
CABRILS-MATARÓ	15,8
CADAQUÉS	34
CALAF	26,8
CALDES D'ESTRAC-AMPLIACIÓ	30
CALELLA	40
CALONGE	60
CAMARASA	25
CAMPRODON	27,5
CAMPRODON II	26,45
CAN PARELLADA	9
CAN ROS	40
CANET-AMPLIACIÓ	27
CAP VAQUÈIRA	49
CAPAFONTS	16
CAPELLADES	26

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

CARDONA	25
CASTELL DE L'ARENY	31
CASTELLDEFELS	35
CASTELLFOLLIT RIUBREGÓS	15,1
CATLLAR MAS PANXER PARCELA11	41
CENTRAL CABDELLA	12
CERDANYA III	31
CERVIA	15
CLAVEROL	13
COLL NARGÓ II	19
COLL REDO	40,2
COLLADA PUBILL	30
COLLSEROLA	268
COLLSUSPINA	55
COMA	7
COMIOLS	30
CUBELLS	20,6
DOSRIUS	16
ELS ÀNGELS	40
ERINYÀ	12,7
ERMITA DE LA FATARELLA	15
ESCALÓ	12,4
ESCORNALBOU	7
ESPINAVELL	11
ESPOT	14,22
ESTARTIT	12,4
ESTERRI CARDÓS	14,7
FALSET	20
FARGA BEBIÉ	8
FARGA MOLES	14,28
FEBRO	16
FIGARÓ	16,8
FÍGOLS I ALINYÀ	15
FIGUERASSA	37,5
FIGUERES	15
FLIX I	20,7
FLIX II rtv	10
FONT DEL TEIXÓ	20
FORNELLS	16
GALLIFA	18
GANDESA	30,5
GARRAF	18
GELIDA	30

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

GERRI SAL	40
GODALL	13
GOMBRÈN	23
GÓSOL	18
GRÉIXER	30
GUARDIOLA	26
GUIXERS	14
HORTA DE SANT JOAN	30
IGUALADA	40
LA JONQUERA	33
LA SENIA	15
L'ESTANY	20
LLAGOSTERA	28
LLAVANERES	12
LLAVORSÍ	12,8
LLIMIANA	16
LLORET	50
LLOSES	17,9
MAÇANET CABRENYS	33,7
MALGRAT DE MAR	25
MALLOL-VALL D'EN BAS	26
MARE DE DÉU DEL MONT	30
MARGALEF	24
MARMELLAR	25,5
MARTINET	13,75
MARTORELL II	18
MATADEPERA	12
MOLINA	15
MOLINS DE REI-AMPLIACIÓ	43
MONISTROL CALDERS	30
MONTAGUT	27
MONTAGUT-QUEROL	16
MONTBLANC	30
MONTCADA	40,5
MONTCARO	63
MONTCAUBÓ	27,5
MONTORNÈS	26
MONT-RAL	12
MONTSENY	9
MONTSERRAT	45
MÓRA LA NOVA	15
MUNTS	30
MUR	12,8

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

MURA	11
MUSSARA	80
MÚTUA DE TERRASSA	24
NÚRIA	29,5
OGASSA TOSSAL	18
OIX BACH CLOSA	21
OLIANA II	25
OLIVELLA	40
OLOST	15
OLOT	21,5
OLOT II	18
OLOT III	23,5
ORCAU	25
ORGANYÀ	30
ORÍS	26
ORISTÀ	11,92
ÒRRIUS	35,5
OS CIVÍS	11,75
OS DE BALAGUER	25
OSOR	8,57
PALAFRUGELL	14,5
PALMA	21
PAÛLS	15
PERELLÓ (EL)	25
PIC ORRI	53,5
PINELL DE BRAI	17
PINÓS	25
POBLA CLARAMUNT	15,3
POBLA DE LILLET, LA	15
POBLA DE SEGUR	17,5
PONT ARMENTERA rtv	10
PONT BAR	20,5
PONT DE SUERT	40
PONT MOLINS	34
PONTS	25
PORTBOU	25,7
PRADELL	40
PRATDIP	8,5
PRATS LLUÇANÈS II	15
PRIORAT	30
PRULLANS	12,44
PUIG REIG	27
PUIGDEVALL	32

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

PUJAL	27,5
PUNTA CURULL	25
REFUGI DE L'ARP	30
RIALP	12
RIBA-ROJA - ALMATRET	24
RIBES FRESEER-AMPLIACIÓ	35
RIPOLL I	87
RIPOLL II	11,4
RIUDECOLS	7,5
ROCACORBA	69,5
RODA DE BARA	26
ROQUETES	26
SALDES	14,7
SALLENT	17,2
SANELA	25
SANT CARLES RAPITA	30
SANT CELONI-AMPLIACIÓ	35,1
SANT CELONI-CANADÀ PARK	26
SANT FELIU GUÍXOLS	20
SANT FOST CAMPCENTELLES	11,6
SANT HILARI SACALM	30
SANT JOAN ABADESSES	17,6
SANT LLOP VIABREA	20
SANT LLORENÇ DE LA MUGA	31
SANT LLORENÇ MORUNYS	20,5
SANT LLORENÇ SAVALL	18,8
SANT MARTÍ LLÉMENA	28,31
SANT PERE DE RIBES-AMPLIACIÓ	26
SANT QUIRZE DE BESORA	15
SANT QUIRZE SAFAJA	24,2
SANT SADURNÍ	20
SANT SALVADOR II	12
SANT VICENÇ DE CASTELLET	30
SANTA COLOMA QUERALT	32
SANTA EULÀLIA DE RIUPRIMER	11
SANTA SUSANNA	22
SANTES CREUS DE BORDELL	43,46
SARRIÀ DE TER	15
SENET	27
SETERADA	10
SETCASES	31
SISQUER	30
SOLSONA	30

Mapa teòric de TV White Spaces de Catalunya

SÚRIA	26
TAGA	11
TAGAMANENT	31
TALADELL	40,5
TAMARIU	18
TARRAGONA AMPLIACIO rtv	1
TAÜLL	9,6
TAÚS	11,72
TAVASCAN	17
TAVÈRNOLES	25
TEIÀ	20
TIANA	12
TÍRVIA	17
TIVENYS	24
TORÀ	16,4
TORNAFORT	27,5
TORRE CAPDELLA	15,5
TORRE ESPANYOL	14
TOSSA MAR II	25
TRINXERA	43
ULLDECONA	20
ULLDEMOLINS	20,5
UNARRE	12,4
VALL BIANYA	40,25
VALL BOÍ	25
VALL D'EN BAS	26
VALLIRANA	21
VALLROMANES	35,7
VALLS VALIRA	30
VANDELLÒS	22
VENDRELL	40
VESPELLA GAIA	26,7
VIELHA	28
VILADRAU	31,35
VILALLER	24,5
VILANOVA BANAT	21,27
VILANOVA MEIÀ	16,5
VIMBODI	12
XERALLO	14
ALTURA MITJANA	24,6655
ALTURA MITJANA (excloent les més altes de cada zona)	22,8485

